

33^η Ενότητα:

Είσοδος Ακτινοβολιών στο Φυσικό Περιβάλλον. Η Δομή του Ατόμου (Πρωτόνια, Νετρόνια, Ηλεκτρόνια). Ακτινοβολία. Ραδιενέργεια (Φυσική και Τεχνητή). Ακτινοβολία (α, β και γ). Διάσπαση του Πυρήνα των Ατόμων. Παραγωγή Ενέργειας κατά τη Διάσπαση του Πυρήνα των Ατόμων

Εισαγωγή

Στην 31^η Ενότητα Σας ζήτησα συγγνώμη, διότι πέρασε αρκετός καιρός από την 30^η Ενότητα. Η αιτιολογία τότε ήταν, ότι χρειάστηκε χρόνο για την σύνταξη μίας εκτενούς μελέτης για όλα τα μοντέρνα προβλήματα γύρω από την κλιματική αλλαγή, τις ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας), την ενεργειακή κρίση, τον πόλεμο στην Ουκρανία και και ... Την μακροσκελή Μελέτη αυτή Σας την κοινοποίησα σαν 32^η Ενότητα.

Ο χρόνος που πέρασε από την 32^η έως την 33^η Ενότητα ήταν ακόμη μεγαλύτερος από αυτόν από την 30^η στην 31^η Ενότητα. Η αιτιολογία όμως τώρα είναι μία άλλη, δηλαδή το γεγονός, ότι ήμουν για περίπου 3 εβδομάδες στο Βερολίνο στη Γερμανία. Θα μπορούσα βέβαια να αιτιολογήσω την αργοπορία μου, με το ότι επισκέφτηκα την «Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος» της Ομοσπονδιακής Δημοκρατίας της Γερμανίας (Umwelt Bundes Amt) όπου πράγματι συνάντησα παλιούς Γνωστούς και ενημερώθηκα για τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της Προστασίας του Περιβάλλοντος. Πλην όμως δεν είναι αυτός ο πραγματικός λόγος.

Η πραγματική αιτιολογία είναι το γεγονός, ότι επισκεφτήκαμε με την Σύζυγό μου τον τότε ηλικίας 2 μηνών εγγονό μας Αλκίνοο-Στέφανο. Επιτρέψτε μου εδώ να αναφερθώ σε κάτι προσωπικό. Ο Γιος μας Μίνως και η Γερμανίδα Σύζυγός του Janin Biniaris-Kuss διευθύνουν 2 διαφορετικά Φαρμακεία στο Βερολίνο. Η Janin εξέφρασε την εξής επιθυμία: «Είμαι πολύ υπερήφανη που παντρεύτηκα Έλληνα και θα ήθελα να το επιδεικνύω. Έτσι θα επιθυμούσα πολύ ο Γιος μας να έχει εκτός του ονόματος του Έλληνα παππού του και ένα χαρακτηριστικό αρχαίο Ελληνικό όνομα». Έτσι μετά από ενδελεχή έρευνα καταλήξαμε στο όνομα Αλκίνοος (αφού εκτός του ιστορικού μέρους – βασιλιάς των Φαιάκων, πατέρας της Ναυσικάς που οδήγησε τον Οδυσσέα στην Ιθάκη.... -- το ετυμολογικό του ονόματος είναι «ισχυρός νους»). Είμαστε όλοι πολύ υπερήφανοι για την επιλογή του ονόματος και ιδιαίτερα ευτυχείς για τις ημέρες που περάσαμε με τόσο αξιαγάπητους ανθρώπους. Ελπίζω, ότι έχετε κατανόηση για αυτήν την αργοπορία μου.

Επιστρέφω όμως στην κυρίως Ιστοσελίδα μας. Με την 33^η και 34^η Ενότητα θα ολοκληρώσουμε την περιγραφή της ρύπανσης και της προστασίας του Περιβάλλοντος, αφού θα έχουμε περιγράψει την είσοδο στο φυσικό Περιβάλλον (ατμόσφαιρα, νερό και έδαφος) εκτός από τις ουσίες τόσο τους ήχους όσο και τις ακτινοβολίες.

Επειδή, ότι θα ακολουθήσει, είναι εκλαϊκευμένη «Πυρηνική Φυσική», υπάρχει πάντα ένας μικροπροβληματισμός. Όταν περιγράψω την είσοδο των ακτινοβολιών στο φυσικό Περιβάλλον ανάλογα με την περίπτωση κάνω μία σύντομη ή και εκτενέστερη αναφορά στο αντικείμενο. Στην περίπτωση Σας, έχω επιλέξει την εκτενέστερη αναφορά. Το σκεπτικό είναι το εξής: Όταν μία Αναγνώστρια ή ένας Αναγνώστης έχει παρακολουθήσει την Ιστοσελίδα μου επί ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα (περίπου 2 χρόνια) και έχει ασχοληθεί με περισσότερες από 300 σελίδες κειμένου που αφορά στην Προστασία του Περιβάλλοντος, έχει όλες τις προϋποθέσεις

να παρακολουθήσει ένα πιο απαιτητικό κείμενο. Έτσι, την περιγραφή της εισόδου των ακτινοβολιών στο φυσικό Περιβάλλον θα την ολοκληρώσουμε σε 2 Ενότητες (στην 33^η και 34^η Ενότητα). Μετά από τις 2 αυτές Ενότητες όμως θα γνωρίζετε τι σημαίνει Διάσπαση του Ατόμου (σωστότερα διάσπαση του πυρήνα των ατόμων), πώς λειτουργεί ένας Πυρηνικός Αντιδραστήρας διάσπασης των πυρήνων, τι είναι η Ατομική Βόμβα, τι είναι η Σύντηξης Πυρήνων των ατόμων, τι είναι η Πυρηνική Βόμβα, πώς λειτουργεί ο Ήλιος μας και τέλος πώς θα λυθεί το ενεργειακό πρόβλημα του μέλλοντος της Ανθρωπότητας με την βοήθεια των Πυρηνικών Αντιδραστήρων Σύντηξης Πυρήνων.

Ας ξεκινήσουμε όμως απλά απλά:

Τα Υλικά από τα οποία αποτελείται η Γη μας

Στη φύση συναντάμε 92 διαφορετικά υλικά, από τα οποία αποτελείται όλη η ύλη στον πλανήτη Γη. Τα υλικά αυτά δε μπορούν με τις συνηθισμένες χημικές μεθόδους να μεταβληθούν σε απλούστερα υλικά και ονομάζονται **στοιχεία**.

Παραδείγματα τέτοιων στοιχείων είναι το υδρογόνο, το οξυγόνο, ο άνθρακας, ο σίδηρος, ο χρυσός, το ουράνιο κ.λπ. Ό,τι υλικό υπάρχει γύρω μας είναι, είτε ένα από αυτά τα στοιχεία μόνο του, είτε κάποια ένωση δύο ή περισσότερων αυτών των στοιχείων, είτε κάποιο μείγμα αυτών των στοιχείων. Ένα παράδειγμα μίας ένωσης στοιχείων είναι το νερό (που αποτελείται από τα δύο στοιχεία υδρογόνο και οξυγόνο). Ένα παράδειγμα ενός μείγματος είναι ο αέρας (που αποτελείται από στοιχεία όπως π.χ. από οξυγόνο και άζωτο αλλά και από ενώσεις όπως π.χ. από υδρατμό). Εκτός των 92 φυσικών στοιχείων υπάρχουν μέχρι τώρα και άλλα 26 τεχνητά στοιχεία (δηλαδή που δεν υπάρχουν στη φύση), τα οποία έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος.

Το «Άτομο»

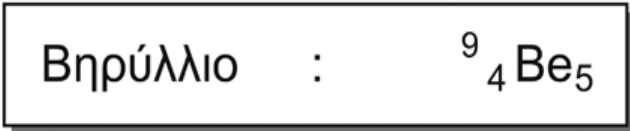
Μία ορισμένη μάζα ενός οποιουδήποτε στοιχείου π.χ. του άνθρακα, μπορούμε να τη διαιρέσουμε σε μικρότερα μέρη δίχως το στοιχείο αυτό να χάσει τις χαρακτηριστικές του χημικές ιδιότητες. Κάποτε όμως φτάνουμε σε μία τόσο μικρή μάζα του στοιχείου, που αν τη διαιρέσουμε περαιτέρω, τότε το μέρος αυτό του στοιχείου δεν θα έχει πλέον τις χαρακτηριστικές χημικές ιδιότητες αυτού του στοιχείου. Η μικρότερη μάζα ενός στοιχείου, που διατηρεί όμως τις χημικές του 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). Ένα άτομο χαρακτηρίζει ένα στοιχείο και είναι διαφορετικό για κάθε ένα από τα στοιχεία.

Η Δομή του Ατόμου

Η δομή ενός ατόμου που θα περιγράψουμε στη συνέχεια ανταποκρίνεται στις γνώσεις της επιστήμης πριν από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα και είναι πολύ απλούστερη των σημερινών γνώσεων. Είναι όμως πιο σκόπιμη, αφού αρκεί, για να γίνουν κατανοητά όσα θα περιγράψουμε στην 33^η και 34^η Ενότητα (σχετικά με την εισοδο των ακτινοβολιών στο φυσικό Περιβάλλον), δίχως να κάνει την κατανόηση της πραγματικής δομής του ατόμου πολύπλοκη.

Ο «Πυρήνας» του Ατόμου

Έτσι ένα άτομο αποτελείται (βλέπε και Σχήμα 18, σελ. 320) καταρχάς από έναν **πυρήνα**, στον οποίον είναι συγκεντρωμένη, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου. Ο πυρήνας αποτελείται από δύο διαφορετικά είδη σωματιδίων τα **πρωτόνια** και τα **νετρόνια**. Τα νετρόνια λέγονται και **ουδετερόνια**. Τα πρωτόνια και τα νετρόνια λέγονται και **νουκλεόνια**. Τα πρωτόνια είναι ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένα, ενώ τα νετρόνια ή ουδετερόνια είναι (όπως δηλώνει και το όνομά τους) ηλεκτρικώς ουδέτερα. Έτσι, ο πυρήνας κάθε ατόμου είναι συνολικά ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένος.



⊕ Πρωτόνιο

● Νετρόνιο

⊖ Ηλεκτρόνιο

Z : Αριθμός των Πρωτονίων ή Ατομικός Αριθμός

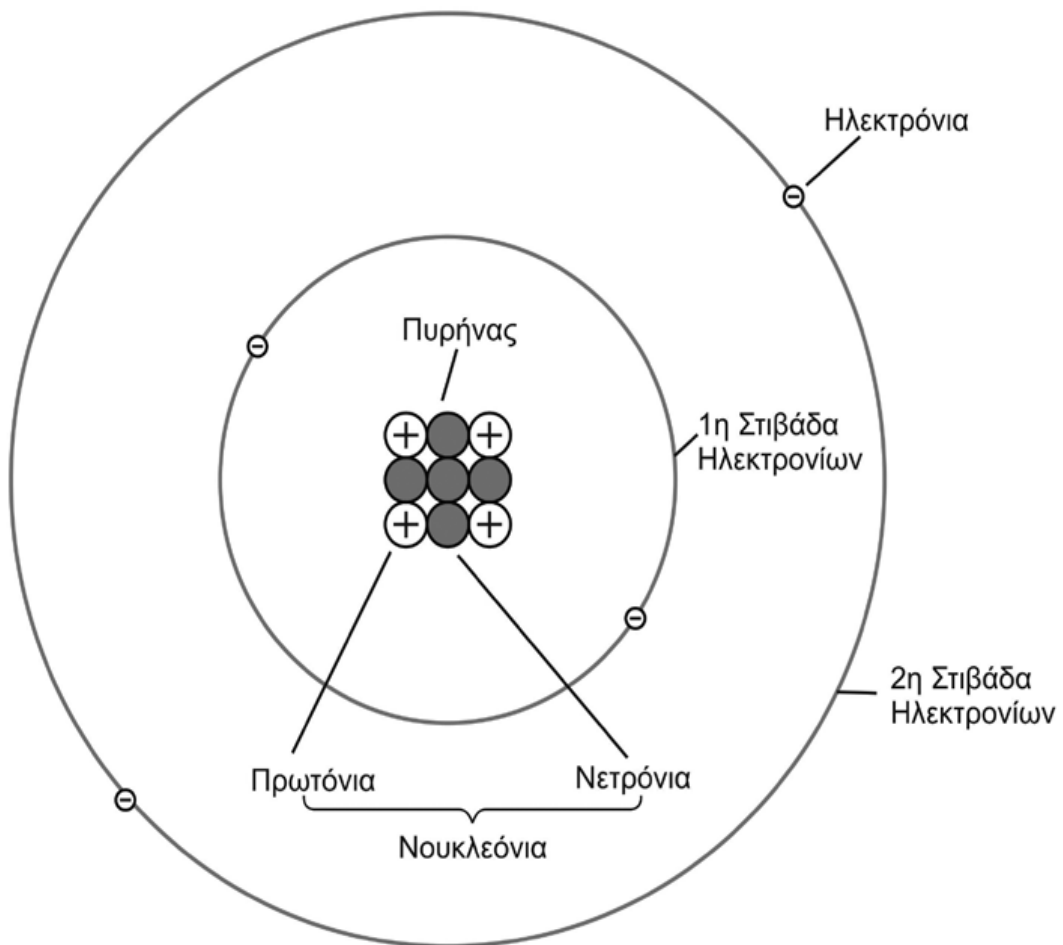
$$Z = 4$$

N : Αριθμός των Νετρονίων

$$N = 5$$

A : Αριθμός των Νουκλεονίων ή Μαζικός Αριθμός

$$A = Z + N = 9$$



Σχήμα 18 : Απλοποιημένο Ατομικό Μοντέλο για το Στοιχείο Βηρύλλιο. Προβολή σε Επίπεδο

Τα «Ηλεκτρόνια» που στρέφονται γύρω από τον Πυρήνα του Ατόμου

Γύρω από τον πυρήνα του ατόμου «στρέφονται» (απλοποιημένα) σε προκαθορισμένες «τροχιές» σωματίδια που ονομάζονται **ηλεκτρόνια** και είναι ηλεκτρικώς αρνητικά φορτισμένα. Το μέγεθος του αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου ενός ηλεκτρονίου είναι ακριβώς ίσο με το μέγεθος του θετικού ηλεκτρικού φορτίου ενός πρωτονίου. Σε κάθε άτομο όμως υπό **κανονικές συνθήκες** ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων. Έτσι κάθε άτομο είναι υπό κανονικές συνθήκες ηλεκτρικώς ουδέτερο. Οι τροχιές των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα βρίσκονται επάνω σε «στιβάδες», που μπορούμε απλοποιημένα να πούμε, ότι είναι ομόκεντρες σφαίρες γύρω από τον πυρήνα με διαφορετικές ακτίνες. Η κάθε στιβάδα μπορεί να έχει το πολύ ένα μέγιστο αριθμό ηλεκτρονίων. Η πρώτη στιβάδα, που είναι πιο κοντά στον πυρήνα έχει το πολύ 2 ηλεκτρόνια. Η δεύτερη στιβάδα έχει το πολύ 8, η τρίτη έχει το πολύ 18, η τέταρτη στιβάδα το πολύ 32 ηλεκτρόνια. Έτσι, π.χ. το στοιχείο ράδιο του οποίου ο αριθμός των πρωτονίων αλλά και των ηλεκτρονίων είναι 88, έχει στην πρώτη στιβάδα 2 ηλεκτρόνια, στη δεύτερη 8, στην τρίτη 18, στην τέταρτη 32 και στην πέμπτη στιβάδα 28 ηλεκτρόνια. Η δομή του ατόμου είναι βέβαια τρισδιάστατη. Στο Σχήμα 18, σελ. 320 για λόγους απλότητας έχει σχεδιαστεί η προβολή της τρισδιάστατης δομής του ατόμου σε ένα επίπεδο.

Η Μάζα του Ατόμου

Η μάζα ενός πρωτονίου είναι περίπου 1836,4 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα ενός ηλεκτρονίου, ενώ η μάζα ενός νετρονίου είναι περίπου 1838,6 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα ενός ηλεκτρονίου. Έτσι γίνεται κατανοητό αυτό που αναφέραμε προηγουμένως, ότι δηλαδή σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη στον πυρήνα του ατόμου.

Αν λάβουμε υπόψη, ότι π.χ. στην περίπτωση του απλούστερου ατόμου, δηλαδή του ατόμου του υδρογόνου η **διάμετρός** του (πυρήνας και ηλεκτρόνια) είναι περίπου 100 000 φορές μεγαλύτερη από τη διάμετρο του πυρήνα (στον οποίο είναι συγκεντρωμένη σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου), τότε προκύπτει, ότι όλο το άτομο είναι σχεδόν «άδειο». Αυτό σημαίνει (και είναι εύκολο να υπολογιστεί), ότι αν παραδεχτούμε για λόγους απλότητας, ότι η μάζα της Γης αποτελείται μόνο από υδρογόνο και «στριμωχόταν» έτσι, ώστε τα άτομα να μην είχαν κενό, τότε η ακτίνα της Γης δεν θα ήταν 6 371 χιλιόμετρα (βλέπε 30ή Ενότητα, σελ. 282) αλλά μόνο 63,71 μέτρα !

Αριθμός των Πρωτονίων Z, των Νετρονίων N και των Νουκλεονίων A στον Πυρήνα ενός Ατόμου

Ο **αριθμός των πρωτονίων** που βρίσκεται στον πυρήνα ενός ατόμου καθορίζει το είδος του ατόμου αυτού και λέγεται **ατομικός αριθμός Z**. Μερικά παραδείγματα είναι: Όταν ένας πυρήνας έχει 1 πρωτόνιο, ο πυρήνας αυτός ανήκει στο στοιχείο υδρογόνο, 2 πρωτόνια στο στοιχείο ήλιο, 3 πρωτόνια στο στοιχείο λίθιο, 4 πρωτόνια στο στοιχείο βηρύλλιο (βλέπε Σχήμα 18, σελ. 320) κ.ο.κ. μέχρι το τελευταίο φυσικό στοιχείο το ουράνιο με 92 πρωτόνια στον πυρήνα του.

Ο **αριθμός των νετρονίων** ενός πυρήνα συμβολίζεται με το γράμμα **N** (στην περίπτωση του στοιχείου βηρύλλιο $N = 5$, βλέπε και Σχήμα 18, σελ. 320).

Ο αριθμός, που προκύπτει από το **άθροισμα των πρωτονίων και των νετρονίων** (δηλαδή όλων των νουκλεονίων) που υπάρχουν στον πυρήνα ενός ατόμου, καθορίζει στοιχείου, χρησιμοποιούμε το χημικό σύμβολό του, δηλαδή ένα ή περισσότερα γράμματα που αποτελούν σύντμηση της ονομασίας του. Υπάρχει όμως μία δυνατότητα με την οποία μπορούμε να περιγράψουμε συγχρόνως τόσο το στοιχείο όσο και τη «δομή» του ατόμου του. Αυτό θα το εξηγήσουμε στην περίπτωση του στοιχείου ράδιο Ra. Η περιγραφή αυτή είναι η εξής: $^{226}_{88}\text{Ra}_{138}$. Ra είναι το χημικό

σύμβολο του στοιχείου ράδιο. Κατά την περιγραφή αυτή ο δείκτης κάτω αριστερά του Ra, δηλαδή το 88, είναι ο αριθμός των πρωτονίων που έχει ο πυρήνας, δηλαδή ο ατομικός αριθμός Z που χαρακτηρίζει το στοιχείο ράδιο. Ο δείκτης κάτω δεξιά, δηλαδή το 138, είναι ο αριθμός των νετρονίων N που έχει ο πυρήνας του στοιχείου ράδιο. Τέλος ο δείκτης επάνω αριστερά, δηλαδή το 226, είναι το άθροισμα των πρωτονίων και των νετρονίων, δηλαδή το άθροισμα των νουκλεονίων δηλαδή ο μαζικός ή και νουκλεονικός αριθμός $A = Z + N$ του πυρήνα του στοιχείου ράδιο.

Ισότοπα ενός Στοιχείου

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, ο αριθμός των πρωτονίων, που έχει ο πυρήνας του ατόμου ενός στοιχείου, χαρακτηρίζει μονοσήμαντα το στοιχείο αυτό. Είναι όμως δυνατό, ο πυρήνας ενός συγκεκριμένου στοιχείου, ο οποίος έχει βέβαια πάντα τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, να έχει διαφορετικούς αριθμούς νετρονίων. Τα στοιχεία αυτά, δηλαδή με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά με διαφορετικό αριθμό νετρονίων ονομάζονται **ισότοπα**. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε μερικά ισότοπα δύο σημαντικών στοιχείων που θα τα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια, δηλαδή τα ισότοπα του υδρογόνου και του ουρανίου.

Τα ισότοπα του υδρογόνου H είναι:

- Το απλό υδρογόνο, δηλαδή το **πρώτιο** ${}^1_1\text{H}_0$ με ένα πρωτόνιο και κανένα νετρόνιο και επομένως με ένα νουκλεόνιο.
- Το **δευτέριο** ${}^2_1\text{H}_1$ με ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο και επομένως με δύο νουκλεόνια.
- Το **τρίτιο** ${}^3_1\text{H}_2$ με ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια και επομένως με τρία νουκλεόνια.

Το ουράνιο U έχει 25 ισότοπα. 3 σημαντικά ισότοπα του ουρανίου U είναι:

- ${}^{234}_{92}\text{U}_{142}$ με 92 πρωτόνια και 142 νετρόνια και επομένως με 234 νουκλεόνια.
- ${}^{235}_{92}\text{U}_{143}$ με 92 πρωτόνια και 143 νετρόνια και επομένως με 235 νουκλεόνια.
- ${}^{238}_{92}\text{U}_{146}$ με 92 πρωτόνια και 146 νετρόνια και επομένως με 238 νουκλεόνια.

Ακτινοβολία

Τώρα έχουμε όλες τις προϋποθέσεις, για να γίνουν κατανοητά όσα θα αναφέρουμε στη συνέχεια για την ακτινοβολία, της οποίας η είσοδος στο φυσικό Περιβάλλον (όπως αναφέραμε περισσότερες φορές) αποτελεί μία μορφή ρύπανσης του φυσικού Περιβάλλοντος. Με τον όρο ακτινοβολία εννοούμε τη ροή ενέργειας είτε με τη μορφή κυμάτων είτε με τη μορφή σωματιδίων.

Από τις κυμάνσεις συνήθως μόνο η ηλεκτρομαγνητική συμπεριλαμβάνεται στην ακτινοβολία. Έτσι π.χ. οι ηχητικές κυμάνσεις (βλέπε 22^η Ενότητα, σελ. 205) δεν κατατάσσονται στην ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός c, δηλαδή $c = 300\,000$ χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο (βλέπε 22^η Ενότητα, σελ. 207). Με την κυματική ακτινοβολία εν γένει ασχοληθήκαμε στην 15^η Ενότητα, σελ. 142, όταν περιγράψαμε την ακτινοβολία που έρχεται στη Γη από τον Ήλιο. Εκεί εξηγήσαμε ότι ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει μία ακτινοβολία είναι είτε το μήκος κύματός της είτε η συχνότητά της είτε η ενέργειά της και ότι ισχύει: Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος μίας ακτινοβολίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητά της και τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργειά της. Έτσι μία σειρά παραδειγμάτων ακτινοβολιών από μεγάλο μήκος κύματος σε μικρότερο, δηλαδή από μικρή συχνότητα σε μεγαλύτερη και επομένως από μικρή ενέργεια σε μεγαλύτερη είναι: τα ραδιοκύματα (π.χ. ενός ραδιοφωνικού σταθμού), τα μικροκύματα (π.χ. φούρνος μικροκυμάτων), οι ηλιακές ακτινοβολίες όπως η υπέρυθη ακτινοβολία, η

ορατή ηλιακή ακτινοβολία και η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες X που ονομάζονται και ακτίνες ρέντγκεν (π. χ. όταν κάνουμε μια ακτινογραφία), η ακτινοβολία γ (με την οποία θα ασχοληθούμε σε ένα επόμενο Κεφάλαιο).

Η σωματιδιακή ακτινοβολία διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα μικρότερη της ταχύτητας του φωτός. Παραδείγματα σωματιδιακής ακτινοβολίας είναι η ακτινοβολία άλφα (α) και η ακτινοβολία βήτα (β) με τις οποίες θα ασχοληθούμε επίσης σε ένα επόμενο Κεφάλαιο.

Ραδιενέργεια

Για τη ραδιενέργεια θα μπορούσα να Σας αναφέρω, ότι είναι λόγος για τον οποίο οι ακτινοβολίες είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο και να συνεχίσω, δίχως να ασχοληθούμε περισσότερο με αυτήν. Με τη ραδιενέργεια θα ασχοληθούμε όμως περισσότερο γιατί θέλω να Σας δείξω πώς φτάσαμε στην διάσπαση του ατόμου, όπου σωστότερη είναι η έκφραση διάσπαση του πυρήνα των ατόμων, στην οποία βασίζεται τόσο η ανεξέλεγκτη διάσπαση (Ατομική, δηλαδή Πυρηνική Βόμβα), όσο και η ελεγχόμενη διάσπαση (Πυρηνικός Αντιδραστήρας), έστω και αν αυτά δεν είναι αυτονόητα ακόμη και σε Φοιτητές Πανεπιστημίων.

Το 1896 ο Γάλλος φυσικός Antoine Henri Becquerel (Μπεκερέλ) ανακάλυψε, ότι οι πυρήνες ορισμένων ορυκτών του στοιχείου ουράνιο διασπώνται **αυθόρμητα**, δηλαδή δίχως κάποια εξωτερική αιτία, δημιουργώντας άλλους πυρήνες και εκπέμποντας συγχρόνως ηλεκτρομαγνητική ή σωματιδιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό το ονόμασε 2 χρόνια αργότερα η Marie Curie (Κιουρί) ραδιενέργεια. Η Κιουρί που πήρε 2 βραβεία Νόμπελ (Φυσικής και Χημείας) είναι η μόνη γυναίκα μεταξύ των τεσσάρων επιστημόνων που έχουν πάρει περισσότερα του ενός βραβείου Νόμπελ. Είναι δε επιπλέον μαζί με τον Linus Pauling (Πόλινγκ) το μόνο άτομο με βραβεία Νόμπελ σε δύο διαφορετικά πεδία.

Επειδή δε η διάσπαση αυτή είναι, όπως αναφέραμε, αυθόρμητη, δηλαδή δίχως κάποια εξωτερική αιτία, ονομάζεται και **φυσική ραδιενέργεια**. Τα δε στοιχεία με αυτήν την ιδιότητα ονομάζονται ραδιενεργά και βρίσκονται στο τέλος αυτής της σειράς των στοιχείων που προκύπτει, όταν κατατάξουμε τα στοιχεία με αυξανόμενο ατομικό αριθμό Z, δηλαδή με αυξανόμενο αριθμό πρωτονίων. Συγκεκριμένα ραδιενεργά (και εδώ αναφερόμαστε μόνο στη **φυσική ραδιενέργεια**) είναι τα στοιχεία με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο του 83, κάτι το οποίο σημαίνει ότι ραδιενεργά είναι τα πολύ βαριά στοιχεία. Παραδείγματα ραδιενεργών στοιχείων είναι επομένως το ραδόνιο $^{222}_{86}\text{Rn}_{136}$, το ράδιο $^{226}_{88}\text{Ra}_{138}$, το θόριο $^{232}_{90}\text{Th}_{142}$, το ουράνιο $^{238}_{92}\text{U}_{146}$, το πλουτόνιο $^{239}_{94}\text{Pu}_{145}$ κ.λπ

Κατά τη ραδιενεργό δράση μπορούν να ελευθερωθούν εκτός των άλλων περισσότερα είδη ακτινοβολίας. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε σκόπιμα μόνο τρία διαφορετικά είδη ακτινοβολίας, διότι είναι αυτά τα είδη που γίνονται κατανοητά με το απλοποιημένο μοντέλο περιγραφής του ατόμου που επιλέξαμε για το σκοπό μας. Οι τρεις αυτές ακτινοβολίες είναι η άλφα (α), η βήτα (β) και η γάμμα.(γ), χαρακτηρίζονται δε διεθνώς με τα Ελληνικά γράμματα α, β και γ και όσο προχωρούμε από την α προς τη γ αυξάνει και η διεισδυτικότητά τους σε υλικά ή το ανθρώπινο σώμα.

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με τη φυσική ραδιενέργεια. Σε ένα επόμενο Κεφάλαιο θα εξηγήσουμε, ότι εκτός από την φυσική ραδιενέργεια υπάρχει και η **τεχνητή ραδιενέργεια**.

Ακτινοβολία Άλφα (α)

Η ακτινοβολία άλφα είναι μία σωματιδιακή ακτινοβολία, που εκπέμπεται (είμαστε στο Κεφάλαιο «Φυσική Ραδιενέργεια» και όχι ακόμη στο Κεφάλαιο «Τεχνητή

Ραδιενέργεια» που έπεται), από τους πυρήνες των βαρέων ραδιενεργών στοιχείων (με ατομικό αριθμό συνήθως μεγαλύτερο του 83), όπως αναφέραμε προηγουμένως.

Η ακτινοβολία άλφα αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Αυτό ανταποκρίνεται ακριβώς σε ένα πυρήνα του στοιχείου ήλιο ${}^4_2\text{He}$. Έτσι η σωματιδιακή ακτινοβολία άλφα είναι πυρήνες του στοιχείου ήλιο, οι οποίοι είναι ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένοι, αφού, όπως έχουμε εξηγήσει, τα πρωτόνια είναι θετικά φορτισμένα, ενώ τα νετρόνια είναι ουδέτερα.

Παρατηρούμε ένα πυρήνα ενός ραδιενεργού στοιχείου, ο οποίος εξέπεμψε ακτινοβολία άλφα. Τον πυρήνα αυτόν πριν την εκπομπή της ακτινοβολίας άλφα τον ονομάζουμε **μητρικό ή γονικό πυρήνα**. Αφού ο πυρήνας του ραδιενεργού στοιχείου που εξέπεμψε ακτινοβολία άλφα έχασε δύο πρωτόνια, ο ατομικός αριθμός του πυρήνα που προέκυψε μειώθηκε σε σχέση με τον μητρικό πυρήνα κατά δύο και επομένως προέκυψε ένα άλλο στοιχείο που βρίσκεται πιο μπροστά στη σειρά των στοιχείων με αυξανόμενο ατομικό αριθμό. Αυτό ονομάζεται **μεταστοιχείωση**. Τον νέο πυρήνα που προέκυψε τον ονομάζουμε **θυγατρικό πυρήνα**.

Τα ηλεκτρικώς θετικά φορτισμένα σωματίδια άλφα εκπέμπονται με ταχύτητα μέχρι 30 000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο (δηλαδή μέχρι 10% της ταχύτητας του φωτός που είναι 300 000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο), γρήγορα όμως απορροφούν δύο ηλεκτρόνια μεταβαλλόμενα σε ουδέτερα άτομα ηλίου. Τα σωματίδια άλφα διεισδύουν στον αέρα μόνο περίπου 2 έως 10 εκατοστά του μέτρου, ενώ συγκρατούνται από ένα απλό φύλλο χαρτιού.

Εις ότι αφορά στην επίδραση της ακτινοβολίας άλφα στον άνθρωπο, αυτή συγκρατείται από τα ρούχα. Από έρευνες έχει προκύψει, ότι όταν ένα σωματίδιο άλφα φτάσει στο δέρμα η διεισδυτικότητά του είναι 30 έως 40 χιλιοστά του χιλιοστού του μέτρου (μm). Η απόσταση αυτή είναι τέτοια, ώστε πριν φρεναριστεί αυτό το σωματίδιο άλφα έχει ήδη διαπεράσει 3 έως 4 κύτταρα του εξωτερικού μέρους του δέρματος, τα οποία στην περιοχή αυτή είναι έτσι και αλλιώς νεκρά, έτσι ώστε με αυτόν τον τρόπο δεν δημιουργούν πρόβλημα. Κίνδυνος υπάρχει, όταν η ακτινοβολία άλφα εισέλθει στο εσωτερικό του σώματος είτε με την αναπνοή είτε με την τροφή είτε με την πόση είτε όταν υπάρχει ρήξη του δέρματος. Όταν δε τα σωματίδια άλφα παραμένουν σε πτυχές του πεπτικού συστήματος, στους πνεύμονες ή στις σάρκες, μπορούν να βλάψουν τα κύτταρα προκαλώντας μέχρι και καρκίνο.

Ακτινοβολία Βήτα (β)

Η ακτινοβολία βήτα είναι επίσης μία σωματιδιακή ακτινοβολία. Μπορεί δε να προέλθει από ασταθείς πυρήνες ραδιενεργών στοιχείων κατά τρεις διαφορετικούς τρόπους. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε αντιπροσωπευτικά μόνο έναν τρόπο, που επελέγη, επειδή μπορεί να γίνει κατανοητός με το ατομικό μοντέλο που έχουμε ήδη περιγράψει. Κατ' αυτόν τον τρόπο ένα νετρόνιο του μητρικού πυρήνα διασπάται σε ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο. Το ηλεκτρόνιο εκπέμπεται ως ακτινοβολία βήτα. Το πρωτόνιο, που δημιουργήθηκε από το ένα νετρόνιο, ενσωματώνεται στον μητρικό πυρήνα. Έτσι, ο θυγατρικός πυρήνας που δημιουργείται από τον γονικό πυρήνα μετά την εκπομπή της ακτινοβολίας βήτα έχει σε σχέση με το γονικό πυρήνα ένα νετρόνιο λιγότερο αλλά ένα πρωτόνιο περισσότερο. Έτσι ο ατομικός αριθμός (αριθμός των πρωτονίων) του θυγατρικού πυρήνα είναι κατά ένα μεγαλύτερος από τον ατομικό αριθμό του γονικού πυρήνα. Δηλαδή ο θυγατρικός πυρήνας ανήκει στο επόμενο στοιχείο απ' ότι ο γονικός πυρήνας. Επομένως και στην περίπτωση της ακτινοβολίας βήτα έχουμε όπως και στην ακτινοβολία άλφα **μεταστοιχείωση** του γονικού πυρήνα.

Η ταχύτητα των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται κατά την ακτινοβολία βήτα είναι πολύ μεγαλύτερη από την ταχύτητα των σωματιδίων άλφα (είναι δηλαδή μέχρι 99% της ταχύτητας του φωτός, ενώ η ταχύτητα των σωματιδίων άλφα είναι, όπως

προαναφέραμε, μέχρι 10% της ταχύτητας του φωτός). Η διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας βήτα είναι μεγαλύτερη από αυτήν της ακτινοβολίας άλφα. Έτσι η ακτινοβολία βήτα διεισδύει π.χ. στον αέρα περισσότερο απ' ό,τι η ακτινοβολία άλφα. Το πόσο όμως διεισδύει είναι συνάρτηση του ποιος πυρήνας εκπέμπει την ακτινοβολία βήτα. Έτσι η διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας βήτα στον αέρα είναι από το τρίτιο ${}^3_1\text{H}_2$ οχτώ εκατοστά του μέτρου, από το ιώδιο 2,5 μέτρα και από τον φώσφορο 7,1 μέτρα. Επίσης η ακτινοβολία βήτα μπορεί να διαπεράσει ξύλο πάχους 2 έως 3 εκατοστά του μέτρου και φύλλα αλουμινίου πάχους μερικών χιλιοστών του μέτρου.

Εάν εκτεθεί το ανθρώπινο σώμα σε ακτινοβολία βήτα, βλάπτονται μόνο τα εξωτερικά στρώματα του δέρματος. Εκεί μπορούν όμως να προκληθούν έντονα εγκαύματα με μακροχρόνιες συνέπειες, όπως π.χ. καρκίνος του δέρματος. Εάν εκτεθούν τα μάτια του ανθρώπου σε ακτινοβολία βήτα, μπορεί να προκληθεί θόλωμα του φακού. Ακόμη προβληματικότερο γίνεται όμως, το εάν καταλήξουν στο ανθρώπινο σώμα ραδιενεργά στοιχεία που εκπέμπουν ακτινοβολία βήτα. Συνέπεια αυτού είναι μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας βήτα στην περιοχή του ραδιενεργού στοιχείου. Είναι αποδεδειγμένη η δημιουργία καρκίνου του θυρεοειδούς αδένος ως συνέπεια του ραδιενεργού ιωδίου ${}^{131}_{53}\text{I}_{78}$. Επίσης εκφράζονται φόβοι για καρκίνο των οστών και λευχαιμία ως συνέπεια της ακτινοβολίας βήτα από το ραδιενεργό στοιχείο στρόντιο ${}^{90}_{38}\text{Sr}_{52}$, επειδή το στρόντιο όπως το ασβέστιο συγκεντρώνεται στα οστά. Παρεμπιπτόντως, μεγάλες ποσότητες των δύο προηγούμενων στοιχείων (ιωδίου και στρόντιου) ελευθερώθηκαν κατά το ατύχημα του Τσερνομπίλ.

Ακτινοβολία Γάμμα (γ)

Όταν ο πυρήνας ενός στοιχείου χτυπηθεί από κάποιο σωματίδιο είτε αυτό διέλθει είτε ανακλαστεί χωρίς καμία φυσική ή χημική μεταβολή του στοιχείου, δηλαδή αν το στοιχείο παραμείνει το ίδιο, είναι δυνατόν ο πυρήνας αυτός να **διεγερθεί**. Την πλεονάζουσα ενέργεια αυτή μπορεί να τη διατηρεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Όταν η ενέργεια αυτή απελευθερωθεί, τότε ο πυρήνας αυτός εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα, δηλαδή μία ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όπως οι ακτίνες X μόνο πολύ μεγαλύτερης διεισδυτικότητας.

Έτσι η ακτινοβολία γάμμα μπορεί να διαπεράσει μερικά εκατοστά του μέτρου μόλυβδο. Οι βιολογικές επιδράσεις σε άτομα που εκτίθενται σε υψηλής έντασης ακτινοβολία γάμμα μπορεί να είναι καρκίνος, γενετικές αλλοιώσεις των κυττάρων και θάνατος. Από την ακτινοβολία γάμμα μπορούμε να προφυλαχτούμε τοποθετώντας ανάμεσα στην πηγή και σε εμάς μία προστατευτική πλάκα από μόλυβδο ή από μπετόν. Το πάχος της πλάκας από μόλυβδο, που θα μας προφυλάξει από την ακτινοβολία γάμμα, είναι φανερό, ότι πρέπει να είναι τόσο μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς I της ακτινοβολίας γάμμα. Το απαραίτητο πάχος της προστατευτικής πλάκας από μόλυβδο ορίζεται εύκολα από το εξής γεγονός: Όταν η ακτινοβολία γάμμα, που έχει την ισχύ I , περάσει μία πλάκα μολύβδου πάχους 1,5 εκατοστών του μέτρου (cm), τότε η ισχύς I έχει ελαττωθεί κατά το ήμισυ, δηλαδή είναι μετά την πλάκα $I' = 1/2 \times I$. Έτσι, αν η πλάκα μολύβδου έχει ένα πάχος:

- 1,5 cm, η ισχύς I είναι μετά την πλάκα $I' = 1/2 \times I$
- 3,0 cm, η ισχύς I είναι μετά την πλάκα $I' = 1/2 \times (1/2 \times I) = 1/4 \times I$
- 4,5 cm, η ισχύς I είναι μετά την πλάκα $I' = 1/2 \times (1/4 \times I) = 1/8 \times I$
- 6,0 cm, η ισχύς I είναι μετά την πλάκα $I' = 1/2 \times (1/8 \times I) = 1/16 \times I$

Έτσι μπορούμε, ανάλογα με την ισχύ I της πηγής που εκπέμπει ακτινοβολία γάμμα, και με την τιμή της ακτινοβολίας που επιτρέπεται να δεχόμαστε, να ορίσουμε το πάχος της προστατευτικής πλάκας.

Χρόνος Ημιζωής ή Υποδιπλασιασμού (τ)

Όταν έχουμε μία ποσότητα ενός ασταθούς στοιχείου, του οποίου οι πυρήνες εκπέμπουν ραδιενέργεια, αυτό σημαίνει, ότι ο αριθμός των γονικών πυρήνων συνεχώς μικραίνει, ενώ ο αριθμός των θυγατρικών πυρήνων που δημιουργούνται μετά την μετατροπή των γονικών πυρήνων συνεχώς αυξάνεται. Ονομάζουμε χρόνο ημιζωής ή υποδιπλασιασμού τ (στα αγγλικά half- life και στα γερμανικά Halbwertzeit) το χρονικό αυτό διάστημα, στο οποίο από τα μητρικά άτομα τα μισά έχουν μετατραπεί στη νέα τους μορφή. Ο χρόνος αυτός είναι γνωστός και χαρακτηριστικός για κάθε ασταθές στοιχείο. Μερικά παραδείγματα χρόνων ημιζωής είναι για το:

Ιώδιο $^{131}_{53}\text{I}_{78}$:	$\tau = 8$ ημέρες,
Κέσιο $^{134}_{55}\text{Cs}_{79}$:	$\tau = 2,1$ χρόνια
Πλουτόνιο $^{239}_{94}\text{Pu}_{145}$:	$\tau = 24\ 100$ χρόνια.

Μάζα και Ενέργεια

Ο Albert Einstein (Αϊνστάιν) μία από τις πιο δημιουργικές διάνοιες της ανθρώπινης ιστορίας ήταν φυσικός γερμανοεβραϊκής καταγωγής, που το 1940 πολιτογραφήθηκε Αμερικανός. Ο Αϊνστάιν λοιπόν διετύπωσε πρώτος τη θεωρία κατά την οποία μάζα και ενέργεια είναι δύο μεγέθη, όπου το ένα μπορεί να μετατραπεί στο άλλο. Δηλαδή μάζα και ενέργεια είναι ένα και το αυτό υπό διαφορετική μορφή. Η σχέση δε που τα συνδέει δίνεται από τον περίφημο τύπο

$$E = m \cdot c^2,$$

όπου

E είναι η ενέργεια,

m είναι η μάζα και

c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό, δηλαδή 300 000 χιλιόμετρα ανά

δευτερόλεπτο (c^2 σημαίνει $c \times c$).

Η εφαρμογή αυτού του τύπου σημαίνει, ότι αν σε ένα σύστημα χαθεί κάποια μάζα m, τότε συγχρόνως εμφανίζεται μία ενέργεια E που δίνεται από τον προηγούμενο τύπο, και τανάπαλιν.

Τεχνητή Ραδιενέργεια

Όταν ανακαλύφθηκε η φυσική ραδιενέργεια το 1896 από το Γάλλο φυσικό Μπεκερέλ (βλέπε σημερινή Ενότητα σελ. 323) έγινε γρήγορα αντιληπτό, ότι η ενέργεια που ελευθερώνεται είναι η πιο συγκεντρωμένη ενέργεια που ήταν μέχρι τότε γνωστή. Όροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν καταρχάς ατομική και αργότερα πιο σωστά πυρηνική ενέργεια. Εκτός από τη φυσική ραδιενέργεια, η οποία, όπως αναφέραμε είναι η αυθόρμητη διάσπαση πυρήνων, υπάρχει και η τεχνητή ραδιενέργεια. Ήταν δε ο Άγγλος Φυσικός (γεννημένος στη Νέα Ζηλανδία) Ernest Rutherford (Ράδερφορντ), ο οποίος πραγματοποίησε την πρώτη τεχνητή εκπομπή ραδιενέργειας: «Βομβάρδισε» δηλαδή πυρήνες του στοιχείου άζωτο με πυρήνες του στοιχείου ήλιο (δηλαδή με άλφα σωματίδια (βλέπε σημερινή Ενότητα, Κεφάλαιο Ακτινοβολία Άλφα (α), σελ. 324) και δημιούργησε νέους πυρήνες οξυγόνου με σύγχρονη εκπομπή πρωτονίων.

Κατά τη ραδιενέργεια είτε αυτή είναι φυσική είτε τεχνητή χαρακτηριστικό είναι, ότι δημιουργείται ένας πυρήνας (ο θυγατρικός πυρήνας), του οποίου ο αριθμός των πρωτονίων είναι παραπλήσιος του αριθμού των πρωτονίων του μητρικού πυρήνα.

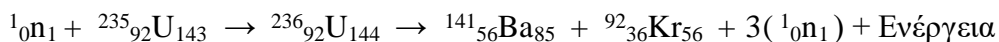
Κάτι όμως τελείως διαφορετικό με τη ραδιενέργεια είναι η λεγόμενη σχάση (ή αλλιώς και διάσπαση) του πυρήνα κατά την οποία από ένα μητρικό πυρήνα δημιουργούνται συνήθως δύο θυγατρικοί πυρήνες, των οποίων ο αριθμός των πρωτονίων δεν είναι παραπλήσιος με τον αριθμό των πρωτονίων του μητρικού πυρήνα (όπως στην περίπτωση της ραδιενέργειας) αλλά μακριά από αυτόν. Ο αριθμός των πρωτονίων των θυγατρικών πυρήνων είναι περίπου στο ήμισυ του αριθμού των

πρωτονίων του μητρικού πυρήνα. Έτσι ο αριθμός των πρωτονίων του ενός θυγατρικού είναι μικρότερος και ο άλλος μεγαλύτερος του ημίσεως των πρωτονίων του μητρικού πυρήνα.

Σχάση (Διάσπαση) των Πυρήνων Βαρέων Στοιχείων

Επειδή η σχάση (ή αλλιώς και διάσπαση) του πυρήνα, δηλαδή αυτό που είναι πιο γνωστό (εσφαλμένα όμως) ως η «διάσπαση του ατόμου» αποτελεί, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, έναν από τους σημαντικότερους σταθμούς στην εξέλιξη της ανθρωπότητας, θέλω να Σας περιγράψω το χρονικό αυτής της σημαντικής εξέλιξης. Το χρονικό αυτό εμένα με γοητεύει όποτε το ξαναδιαβάζω και ελπίζω να έχει κάποια αντίστοιχη επίδραση και σε Εσάς.

Στις 17 Δεκεμβρίου του 1938 δύο Γερμανοί Χημικοί (είναι δε σημαντικό, ότι είχαν ειδικευση στην πειραματική Χημεία) οι Otto Hahn (Χάαν) και Fritz Strassmann (Στράσμαν), που εργαζόνταν στο Ινστιτούτο Kaiser-Wilhelm για Χημεία στο Βερολίνο, «βομβάρδισαν» πυρήνες του στοιχείου ουράνιο $^{235}_{92}\text{U}_{143}$ (του οποίου ο κάθε πυρήνας έχει 92 πρωτόνια) με νετρόνια (το σύμβολο του νετρονίου είναι $^1_0\text{n}_1$, δηλαδή είναι ένα σωματίδιο με ένα νετρόνιο, κανένα πρωτόνιο και επομένως ένα νουκλεόνιο). Με αυτόν τον τρόπο περίμεναν να δημιουργήσουν με τεχνητή ραδιενέργεια κάτι αντίστοιχο με αυτό που έκανε ο Ernest Rutherford (βλέπε σημερινή Ενότητα, Κεφάλαιο Τεχνητή Ραδιενέργεια, σελ 326), δηλαδή κάποιο τεχνητό στοιχείο γειτονικό αλλά πέραν από το ουράνιο (Transurane). Το πείραμα δεν απέδωσε τα προσδοκώμενα. Άντ' αυτού όμως (επειδή ήταν καλοί πειραματικοί Χημικοί) ανίχνευσαν με μεγάλη τους έκπληξη στα προϊόντα της αντίδρασης το στοιχείο βάριο (Ba), του οποίου ο κάθε πυρήνας έχει 56 πρωτόνια. Δηλαδή για πρώτη φορά σε τέτοιου είδους πείραμα δεν ανιχνεύθηκε ένας παραπλήσιος με τον αρχικό θυγατρικός πυρήνας, αλλά δύο διαφορετικοί θυγατρικοί πυρήνες το βάριο (Ba) και το κρυπτό (Kr) με ατομικό αριθμό (αριθμό των πρωτονίων) 56 και 36 αντίστοιχα, δηλαδή κοντά στο ήμισυ του ατομικού αριθμού του μητρικού πυρήνα του ουρανίου (που είναι 92), όπου βέβαια ελευθερώθηκε ένα μεγάλο ποσό ενέργειας. Το πείραμα των Χάαν και Στράσμαν περιγράφεται (για την περίπτωση που υπάρχει ενδιαφέρον) από την ακόλουθη πυρηνική αντίδραση:



Από την πυρηνική αντίδραση αυτή αναγνωρίζουμε κάτι πολύ σημαντικό. Δηλαδή για τη διάσπαση του πυρήνα του ουρανίου χρειάστηκε μεν ένα νετρόνιο, αλλά δημιουργήθηκαν όμως τρία νέα νετρόνια. Έτσι μπορούμε (όπως θα αποδείξουμε στην επόμενη 34^η Ενότητα) να χρησιμοποιήσουμε αυτά τα νετρόνια για να διασπάσουμε περαιτέρω πυρήνες.

Επειδή κατά το πείραμα αυτό άλλο επιδιωκόταν και άλλο προέκυψε, τα αποτελέσματα του πειράματος δεν έγιναν καταρχάς τελείως κατανοητά από τους Χάαν και Στράσμαν, επειδή οι δύο αυτοί ερευνητές ήταν (όπως προανέφερα) πειραματικοί Χημικοί και όχι θεωρητικοί Φυσικοί. Στη θεωρητική εξήγηση συνέτεινε αργότερα και η επί σειρά ετών πρώην συνεργάτης του Χάαν στο Ινστιτούτο Kaiser-Wilhelm, δηλαδή η Lise Meitner (Μάιτνερ). Η Μάιτνερ εγκατέλειψε τη Γερμανία στις 13 Ιουλίου του 1938 (δηλαδή πριν το περίφημο πείραμα της 17^{ης} Δεκεμβρίου του 1938) και κατέληξε μέσω Ολλανδίας και Δανίας στη Σουηδία, επειδή ήταν μεν Αυστριακή αλλά Εβραία στο θρήσκευμα. Η Μάιτνερ λοιπόν συζήτησε στη Σουηδία με τον ανιψιό της Otto Frisch (Φρις) επίσης Φυσικό (Άγγλο Αυστριακής καταγωγής), ο οποίος εκείνη την περίοδο εργαζόταν στην Κοπεγχάγη κοντά στον περίφημο Δανό φυσικό Niels Bohr (Μπορ) τα πειραματικά αποτελέσματα των Χάαν και Στράσμαν,

επιτυγχάνοντας τη θεωρητική εξήγηση των περίφημων πειραμάτων. Έτσι έγινε αντιληπτό, ότι με το πείραμα αυτό επετεύχθη για πρώτη φορά η σχάση ενός πυρήνα με αποτέλεσμα την ελευθέρωση ενός πολύ μεγάλου ποσού ενέργειας. Το ποσό αυτό της ενέργειας προέκυψε από το γεγονός, ότι το σύνολο της μάζα των σωματιδίων μετά τη διάσπαση του πυρήνα ήταν μικρότερο από ότι πριν τη διάσπαση, οπότε βάσει του τύπου του Αϊνστάιν (βλέπε σημερινή Ενότητα, Κεφάλαιο Μάζα και Ενέργεια, σελ 326) η μάζα που χάθηκε μεταβλήθηκε σε ενέργεια. Αυτό ήταν η απαρχή καταρχάς της μη ελεγχόμενης σχάσης του πυρήνα.

Η ελευθέρωση όμως ενός πολύ μεγάλου ποσού ενέργειας οδήγησε σε σκέψεις, πώς αυτή η ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο για ειρηνικούς όσον όμως και για πολεμικούς σκοπούς. Έχει δε ενδιαφέρον, ότι στις 16 Ιανουαρίου του 1939 ο περίφημος Δανός Φυσικός Niels Bohr (Μπορ) ταξίδεψε στις ΗΠΑ, προκειμένου να ανταλλάξει απόψεις με τον ακόμη πιο περίφημο Φυσικό Αϊνστάιν γύρω από τα επίκαιρα προβλήματα της Φυσικής. Λίγο όμως πριν αναχωρήσει ο Μπορ για το προγραμματισμένο από καιρό ταξίδι του στην Αμερική, τον επισκέφτηκε η Μάιτνερ, η οποία τον ενημέρωσε για τα σημαντικά αποτελέσματα των πειραμάτων των Χάαν και Στράσμαν. Έτσι ο Μπορ φτάνοντας στις ΗΠΑ ενημέρωσε τους εκεί Φυσικούς για τα δρώμενα στο Βερολίνο. Αποτέλεσμα αυτού ήταν, ότι τέσσερα χρόνια μετά τα πειράματα των Χάαν και Στράσμαν, το 1942 ο Ιταλός φυσικός Enrico Fermi (Φέρμι) πέτυχε την πρώτη ελεγχόμενη πυρηνική αλυσωτή αντίδραση σχάσης πυρήνων σε ένα πυρηνικό αντιδραστήρα στο Σικάγο ανοίγοντας τις πόρτες στην ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας (βλέπε την επόμενη 34^η Ενότητα).

Αλλά όχι μόνο αυτό! Επηρεασμένοι οι Αμερικανοί από το επίτευγμα των Χάαν και Στράσμαν και φοβούμενοι πιθανή εξέλιξη πυρηνικών όπλων από την τότε Γερμανία [η οποία διέθετε έναν άλλον περίφημο Φυσικό τον Werner Heisenberg (Χάιζενμπεργκ)], ξεκίνησαν με απόλυτη μυστικότητα το περίφημο «Σχέδιο Μανχάταν» στο Los Alamos του New Mexico στις ΗΠΑ. Εκεί συνεργάστηκαν όλοι οι ταλαντούχοι επιστήμονες της εποχής υπό τον χαρισματικό Φυσικό Robert Oppenheimer (Οπενχάιμερ). Το αποτέλεσμα: Στις 16 Ιουλίου του 1945 έγινε η πρώτη δοκιμή της πυρηνικής βόμβας (Trinity-Test) στο Alamogordo του New Mexico, για να ακολουθήσει η πρώτη ρίψη (Little Boy) στις 6 Αυγούστου του 1945 στη Χιροσίμα και τρεις ημέρες αργότερα η δεύτερη ρίψη (Fat Man) στο Ναγκασακί. Οι δύο αυτές ρίψεις είχαν ως αποτέλεσμα το θάνατο εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων, σήμαναν όμως και το τέλος του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου.

Ίσως έχει ιστορική σημασία, ότι άκουσα τον ίδιο τον «πατέρα» της βόμβας υδρογόνου (βλέπε την επόμενη 34^η Ενότητα) Edward Teller (Τέλλερ) να λέει μεταπολεμικά στη Γερμανική τηλεόραση: «...Δεν μπορώ να φανταστώ, ότι ένας Φυσικός, όπως είναι ο Γερμανός Χάιζενμπεργκ, δεν ήταν εις θέση να κατασκευάσει επίσης την πυρηνική βόμβα...», δημιουργώντας παθιασμένες συζητήσεις στη μεταπολεμική Γερμανία, για το εάν οι Γερμανοί Φυσικοί απέφυγαν να κατασκευάσουν ένα τέτοιο καταστρεπτικό όπλο. Η αλήθεια όμως είναι (και αυτό είναι αποδεδειγμένο, όποια ή όποιος έχει ενδιαφέρον μπορεί να αποταθεί σε εμένα), ότι πράγματι δε μπόρεσαν. Όσο για τα λόγια του Τέλλερ ήσαν σίγουρα «homage» (δείγμα σεβασμού) στον άλλοτε Καθηγητή του Χάιζενμπεργκ.

Σχάση (Διάσπαση) Πυρήνων. Παραγωγή Ενέργειας

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο Κεφάλαιο κατά τη σχάση του πυρήνα του στοιχείου ουράνιο ελευθερώνεται ένα μεγάλο ποσό ενέργειας. Η ελευθέρωση ενέργειας κατά τη σχάση ενός πυρήνα προέρχεται (όπως προαναφέραμε) από το γεγονός ότι το σύνολο της μάζας των σωματιδίων που δημιουργείται μετά τη διάσπαση είναι μικρότερο από τη μάζα των σωματιδίων πριν από τη διάσπαση. Αυτό

όμως σημαίνει, ότι βάσει του τύπου του Αϊνστάιν (βλέπε σημερινή Ενότητα, Κεφάλαιο Μάζα και Ενέργεια, σελ. 326), η μάζα που χάθηκε κατά τη σχάση έχει σα συνέπεια τη δημιουργία αυτού του μεγάλου ποσού ενέργειας.

Ελευθέρωση ενέργειας κατά τη σχάση ενός πυρήνα δεν επιτυγχάνεται με όλα τα στοιχεία αλλά μόνο με τη σχάση του πυρήνα των βαρέων στοιχείων από το 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.

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

Την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά τη σχάση ενός πυρήνα ουρανίου μπορούμε να την υποδιαιρέσουμε σε δύο μέρη: α) την ενέργεια που δημιουργείται σχεδόν ακαριαία. Αυτή 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. β) την ενέργεια που ελευθερώνεται καθυστερημένα (ανάλογα με τους χρόνους ημιζωής) ως συνέπεια της εκπομπής ακτινοβολίας β και γ από τους δύο πυρήνες θραύσματα. Τα αντίστοιχα ποσοστά των επί μέρους αυτών ενεργειών ως προς τη συνολικά παραγόμενη ενέργεια της σχάσης είναι 4% και 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.

Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά τη σχάση των πυρήνων του ουρανίου, αναφέρουμε συγκριτικά ότι από τη σχάση των πυρήνων μόνο ενός γραμμαρίου ουρανίου προκύπτει η ενέργεια που θα προέκυπτε από την καύση περίπου 6 500 000 γραμμαρίων λιγνίτη (ανάλογα βέβαια με το είδος του λιγνίτη).

Μέχρι τώρα δημιουργήσαμε όλες τις προϋποθέσεις για να μπορέσουμε στην επόμενη 34^η Ενότητα να εξηγήσουμε πώς μπορούμε με τη σχάση (διάσπαση) των πυρήνων των βαρέων στοιχείων (κυρίως του ουρανίου αλλά και του πλουτωνίου) να παράγουμε μεγάλα ποσά ενέργειας τόσο ελεγχόμενα (σε έναν Πυρηνικό Αντιδραστήρα) όσο και ανεξέλεγκτα σε μία Ατομική (σωστότερα Πυρηνική) Βόμβα.

Την επόμενη 34^η Ενότητα θα κλείσουμε με την σύντηξη των πυρήνων των ελαφρών στοιχείων (του υδρογόνου) με την οποία μπορούμε επίσης να παράγουμε μεγάλα ποσά ενέργειας είτε ανεξέλεγκτα σε μία Βόμβα Υδρογόνου είτε όμως και ελεγχόμενα σε έναν Πυρηνικό Αντιδραστήρα Σύντηξης. Ο Αντιδραστήρας αυτός προβλέπεται να λύσει τα προβλήματα του Μέλλοντος της Ανθρωπότητας, όταν όλες οι άλλες μορφές ενέργειας δεν θα αρκούν. Παρεμπιπτόντως στη σύντηξη πυρήνων υδρογόνου βασίζεται η λειτουργία του Ήλιου μας.