

ΑΘ. ΦΑΒΡΙΚΑΝΟΥ
ΤΑΚΤΙΚΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

ΡΑΔΙΟΧΗΜΕΙΑ

ΕΚΤΥΠΩΣΕΙΣ OFFSET: Σ. ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ - Σ. ΠΑΠΑΔΑΜΗΣ Ο.Ε.
Εμ. Μπενάκη 76 Τηλ. 36.22.928 - 36.15.213

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τό βιβλίον τούτο προορίζεται κυρίως διά τούς τελειοφοίτους τοῦ χημικοῦ τμήματος καὶ περιλαμβάνει τάς ἀπαραίτητους, ἐπὶ τῆς ραδιενεργείας, γνῶσεις αἱ ὅποιαι κεῖνται ἐντός τοῦ ἐνδιαφέροντος τοῦ χημικοῦ.

‘Η Ραδιοχημεία, ἥτις ἀναφέρεται εἰς τὴν ἐφαρμογήν τῶν πυρηνικῶν ἴδιοτήτων διὰ τὴν ἐπίλυσιν χημικῶν προβλημάτων, βασίζεται καὶ ἐπὶ τῆς πυρηνικῆς φυσικῆς. ’Ως ἐκ τούτου ἡ ἀνάπτυξις τῶν κεφαλαίων τῶν σχετιζομένων μὲν τάς ἴδιότητας τοῦ πυρήνος χρίνεται λίαν ἀπαραίτητος, καθ’ ὅσον μόνον ἡ ἐπαρκής γνῶσις αὐτῶν καθιστᾷ δυνατήν τὴν κατανδησιν καὶ χρησιμοποίησιν τῶν διαφόρων ραδιοχημικῶν μεθόδων.

Ε Ι Σ Α Γ Ο Γ Η

Ιστορικόν:

Μολονότι ή κυρηνική έπιστημη είναι νέα έπιστημη, έν τούτοις έχει ίδιαιτέραν βαρύτητα διότι μόνον λόγω τῶν ήδη ή μελλοντικῶν δυνατῶν έπιτεύξεων ἀλλά καὶ λόγω τῶν πολιτικῶν έπιπτώσεων τάς δοποίας δύναται νά έχη ή ἀνάπτυξις ταύτης.

'Η πυρηνική έπιστημη ἀρχίζει περί τό τέλος τοῦ παρελθόντος αἰῶνος μέ τήν ἀνακάλυψιν τῆς ραδιενεργείας ὑπό τοῦ Becquerel (1896). Οὗτος παρετήρησεν δτι τά ἀλατα τοῦ οὐρανίου ἐκπέμπουν μίαν ἀδρατον ἀκτινοβολίαν προσβάλλουσαν τήν φωτογραφικήν πλάκα. 'Η ἀκτινοβολία αὕτη ἡδύνατο νά ἀποφορτίσῃ ἐν φορτισμένον ἡλεκτροσκόπιον καί κατά συνέπειαν τό φαινόμενον τοῦτο ἡδύνατο νά χρησιμοποιηθῇ ὡς μέτρον τῆς ἐντάσεως τῆς ἀκτινοβολίας. Πέραν τούτου διεπιστώθη δτι η ἀκτινοβολία αὕτη ἦτο χαρακτηριστική τοῦ οὐρανίου, ἀνεξαρτήτως τῆς φυσικῆς καταστάσεως καί τῆς χημικῆς μορφῆς αὐτοῦ. Τό 1898 τό ζεῦγος Curie εἰς τήν Γαλλίαν καί ὁ Schmidt εἰς τήν Γερμανίαν διεπίστωσαν παρομοίαν ἀκτινοβολίαν καί εἰς τό θόριον.' Από τάς ἔργασίας τοῦ ζεύγους Curie προέκυψεν δτι αἱ "ἀκτῖνες Becquerel" ἀκοτελοῦν ἐνδοστομικόν φαινόμενον, τά δέ στοιχεῖα τά δοποῖα ἐκπέμπουν ταύτας ὄνομάσθησαν ραδιενεργά στοιχεῖα.

‘Η Marie Curie διεπίστωσεν ότι: ὡρισμένα ὄρυκτά εἶχον μεγαλυτέραν ραδιενέργειαν ἀπό τὴν ὑπολογιζομένην βάσει τῆς περιεκτικότητος εἰς οὐράνιον καὶ υπέδεσεν ότι περιέχουν ἀγνωστὰ ραδιενεργά στοιχεῖα, εἰς μή ἀνιχνευσίμους, χημικῶς, ποσότητας. ’Ἐν συνεργασίᾳ δέ μετά τοῦ συζύγου της ἤθλησε ν’ ἀπομονώσῃ καὶ νά διαπιστώσῃ τὰ ἀγνωστὰ ταῦτα στοιχεῖα. Πρός τοῦτο ἡ ἀπομόνωσις ἐπρεπε νά βασισθῇ εἰς τὴν ραδιενέργειαν τῶν προϊόντων ἐκάστου διαχωρισμοῦ. ’Πάστον δηλαδή προΐδν, τὸ δικοῖον διεχωρίζεται, ἐξητάζετο ὡς πρός τὴν ραδιενέργειαν ἥτις καὶ ἀπετέλει μέτρον τῆς περιεχομένης, εἰς τό μῆγμα, οὐσίας. Οὕτως ἐγενήθη ἡ Ραδιοχημεία, αἱ δέ ολασματώσεις καὶ λοιποὶ διαχωρισμοὶ ἀπετέλεσαν τὰς πρώτας μεθόδους τῆς Ραδιοχημείας. Κατά τὴν πορείαν τῶν διαχωρισμῶν τούτων ἀνεκαλύφθη τό πολώνιον. Πέραν τούτου διεπίστωσε, κατά τοῦς διαχωρισμούς αὐτούς, καὶ τὴν ὕπαρξιν δευτέρας ισχυρῶς ραδιενεργοῦ οὐσίας, ἐντελῶς διαφόρου, ἀπό χημικῆς πλευρᾶς, τοῦ πολωνίου. Κατόπιν τούτου ἐσυνέχισαν τὴν προσπάθειαν καὶ διά διαφόρων ολασματώσεων τοῦ χλωριούχου ἀλατος ἔλαβον ραδιενεργόν ούσιαν μέ ισχυράν ραδιενέργειαν, ἥτις, ἐξετασθεῖσα ὑπό τοῦ Demarcay ὡς πρός τό φάσμα αὐτῆς, διεπιστώθη ότι δέν ἀνήκεν εἰς οὐδέν ἐν τῶν γνωστῶν στοιχείων. ’Η ζντασίς τῶν γραμμῶν ἦτο ἀνάλογος τῆς ραδιενεργείας εἰς τό ολάσμα. Τό νέον στοιχεῖον ὀνομάσθη ράδιον:

Τό 1903 ὁ Rutherford εἰς τὴν Ἀγγλίαν καὶ τό ζεῦγος Curie εἰς τὴν Γαλλίαν ἐμελέτησαν τὰς ἴδιοτητας τῶν ἀκτινοβολιῶν, τῶν ἐκπεμπομένων ὑπό ραδιενεργῶν οὐσιῶν, καὶ διεπίστωσαν ότι ἡσαν τριῶν εἰδῶν εἰς τά διοῖα ἐδόθησαν τά ὄνόματα α-β-γ-ἀκτινοβολία.

‘Η άντιληφίς ότι τά απομακρυσμένα έχουν δομήν σχετίζεται με τάς έργασίας του Thomson καί του Rutherford. ‘Ο Thomson το 1897 άνεκάλυψε τό ήλεκτρόνιον καί εὗρεν ότι ο λόγος μ/ε είναι ίσης με της φύσεως του άεριου. ‘Η τιμή της μάζης πιο του ήλεκτρονίου άπειδείχθη ότι ήτο λίγη μικρά συγκρινούμενη πρός τήν μάζαν τῶν άτομων. ’Εφ' θσον λαμβάνομεν ιαδοδικάς άκτινας με οιονδήποτε άέριον εἰς τόν σωλήνα έκκενώσεως, έπειτα ότι τά ήλεκτρόνια υπεισέρχονται, κατά οάποιον τρόπον, εἰς τήν δομήν του άτομου. ’Αλλά τά απομακρυσμένα ήτο γνωστόν ότι ήσαν ούδετερα ήλεκτρικῶς, έναντι τά ήλεκτρόνια έχουν άρνηται ούτερα ηλεκτρικῶς, έναντι της ηλεκτρικής φορτίου τό διπολού έξουδετερώνει τό άρνηται ούτερον τοιούτον. ’Ο Thomson το 1910 πρωτείνει έναν άποδειγμα άτομου ιαδός τούτο άπετελείτο ένα σφαίρας διμοιομόρφως θετικῶς φορτισμένης, άκτινος $\sim 10^{-8}$ cm, έντος της διπολίας τά ήλεκτρόνια ήσαν διμοιογενῶς κατανεμημένα. ’Η θετική αύτη σφαίρα ήτο υπεύθυνος διά τήν μάζαν του άτομου. ’Η άνωκάλυψις δύναται της ραδιενέργειας έδωσε τό πειραματικόν ύλικόν διά τού διπολού κατέπεσεν ή θεωρία αυτη. Κατά τά πειράματα έπι της σκεδάσεως τῶν α-άκτινων έπι λεπτῶν μεταλλικῶν φύλλων, θύρα τῶν Geiger - Marsden (1909), διεπιστώθη ότι μερικά ασωμάτια διήρχοντο διά τού μεταλλικού φύλλου άνευ άποκλίσεως, ύποδεικνύοντα ότι τό μεταλλικό φύλλον, κατέπλευστον, ήτο κενός χῶρος. ’Ετερα δύναται α-σωμάτια ψήσταντο άποκλίσιν ύπό μεγάλην γωνίαν ύποδεικνύοντα τήν ψηφρειν ισχυρόσ κέντρου θετικού φορτίου. Κατά τό πρότυπον του Thomson δέν άνεμένετο ότι ή ήλεκτροστατική άπωσίς θά ήτο ισχυρά, ιαδός τό διμοιομόρφως θετικόν

φορτίον τῆς σφαιρικής έξουδετερούτο ύπό τοῦ ἀρνητικοῦ φορτίου τῶν ἡλεκτρονίων καί συνεπῶς δέν θά ύπῆρχεν ίσχυρόν ἡλεκτροστατικόν πεδίον ίκανόν νά προκαλέσῃ μεγάλας ἀποκλίσεις εἰς τὰ α-σωμάτια εἴτε λόγω ἀπώσεως εἴτε λόγω ξλεξεως. Τά α-σωμάτια, λόγω τῆς μεγάλης αὐτῶν μάζης ξναντι τῶν ἡλεκτρονίων, δέν ἐπηρεάζονται αἰσθητῶς ύπό τούτων ἄλλα μόνον ἀπό τό ἡλεκτρικόν πεδίον τοῦ θετικοῦ φορτίου. Διά νά έξηγήσῃ τό πειραματικόν τοῦτο ἀποτέλεσμα δ Rutherford προτείνει ξνέον πρότυπον ἀτόμου καίδημον ωργεῖ ταυτοχρόνως τόν ιλάδον τῆς πυρηνικῆς φυσικῆς. 'Ἐφ' δσον τά ἡλεκτρόνια δέν ήσαν εἰς θέσιν νά προκαλέσουν τοιαύτας μεγάλας ἀποκλίσεις τῶν α-σωμάτων, δ Rutherford ύπεθεσεν δτι αἱ ἀποκλίσεις ώφείλοντο εἰς ἡλεκτροστατικάς ἀπώσεις μεταξύ α-σωμάτων καί μιᾶς ἄλλης θετικῆς ποσότητος ἐντός τοῦ ἀτόμου. Τό φορτίον τῆς θετικῆς ταύτης ποσότητος ἔπρεπε νά ήτο ὥριτε μεγάλογ ώστε νά προκαλῇ τάς μεγάλας ἀποκλίσεις τῶν α-σωμάτων. 'Ἐφ' δσον δμως τά πλείστα τῶν α-σωμάτων διέρχονται διά τοῦ μεταλλικοῦ φύλλου ἕνευ ἀποκλίσεως, ἐκρεκε ή θετική αὐτή ποσότης νά ιατέχη πολύ μικρόν δγκον ξναντι τοῦ δλικοῦ δγκου. 'Η εἰκών ήτις προκύπτει ἀπό τοιούτον συλλογισμού εἶναι δτι τό μεταλλικόν φύλλον ἀποτελεῖται ἀπό ἀτομά ξκοντα ξν πολύ μικρόν καί βαρύ κέντρον ξνθα συγκεντρούται δλον τό θετικόν φορτίον καί σχεδόν δλη ή μᾶζα τοῦ ἀτόμου καί τό δποτον ἐκλήθη πυρήν. Ούτως έξηγούνται αἱ μεγάλαι ἀποκλίσεις τῶν α-σωμάτων. Τά ἡλεκτρόνια οινούνται πέριξ τοῦ πυρήνος, εἰς μεγάλην ἀπόστασιν, δπως οἱ πλανῆται περί τόν ήλιον. Εἰς περιστέρω πειράματα ύπελογισθη τό φορτίον τοῦ πυρήνος καί ή κατά προσέγγισιν ἀκτίς τούτου. Τό 1913 δ Van der Broeck ύποθέτει δτι τέ φορτίον τοῦ πυρή-

νος ήτο ίσον μέ τόν ἀτομικόν ἀριθμόν τοῦ στοιχείου, ὅπερ καὶ ἐπεβεβαιώθη ὡργότερον. Ἀλλὰ τὸ πρότυπον τοῦ Rutherford δέν ἦδύνατο νά συμβιβασθῇ μέ τάς ἀρχάς τῆς φυσικῆς. Τά ἡλεκτρόνια ἐλκόμενα ὑπό τοῦ πυρήνας ἐπρεπε νά προσεγγίζουν συγεχῶς τόν πυρήνα ἕως ὅτου ἔξουδετερωθούν. Δηλαδὴ ἡ γένεσις ἐνδεικνύεται τοιούτου ἀτόμου συνέπιπτε μέ τόν θάνατον τούτου. Ἡ δυσκολία θά ἦδύνατο νά ὑπερνικηθῇ υποθέτοντες δτι τά ἡλεκτρόνια κινοῦνται πέριξ τοῦ πυρήνας, ὡς διετυπώθη τούτο ὑπό τοῦ Rutherford, εἰς τροχιάς τοιαύτας οὕτως ὥστε ἡ ἡλεκτροστατική δύναμις ἔλξεως νά ἴσορροπῇ μέ τήν φυγόκεντρον. Ἀλλὰ μία τοιαύτη υπόθεσις δδηγεῖ εὐθέως εἰς νέαν δυσκολίαν. Τά ἡλεκτρόνια κινούμενα ἐπί τοιούτων τροχιῶν, θά πρέπει νά ἐκπέμπουν συνάρτησις ἐνέργειαν ὑπό μορφήν ἡλεκτρομαγνητικῆς ἀντινοβολίας παί συνεπῶς ἡ κινητική ἐνέργεια τούτων θά ἐλαττούται, ἡ τροχιά θά καθίσταται μικροτέρα παί τέλος θά ὑπερροφῶντο ὑπό τοῦ πυρήνας. Συνεπῶς ἐν τοιούτον ἀτομον δέν θά εἶναι σταθερόν παί ἄρα δέν εἶναι παραδειτόν. Πέραν τούτου τά ἡλεκτρόνιας θά δίδουν συνεχές φάσμα ἐν ἀντιθέσει πρός τό παρατηρούμενον γραμμικόν φάσμα. Τό πρόβλημα τούτο ἀντιμετωπίσθη ὑπό τοῦ Bohr δτις, δεχθεῖς τήν πιθανήν θεωρίαν όιά τό πρότυπον τοῦ Rutherford, εἰσήγαγε τό πρότυπον ἀτομον τοῦ Bohr.

Τό 1919 δ Rutheford ἐπέτυχε τήν πρώτην πυρηνικήν ἀντίδρασιν, ἐνῶ τό 1920 ἐτος δ Aston ἐδημιούργησε τόν πρώτον φασματογράφον τῶν μαζῶν. Κατά τήν περίοδον 1920-1930 διαπιστώται μέ τόν προηγμένον φασματογράφον μάζης δτι δλα σχεδόν τά φυσικά στοιχεῖα ὑπάρχουν υπό μορφήν ισοτόπων παί δτι αἱ ἀτομικαὶ μάζαι δέν ήσαν ἀριθμῶς ἀκέραιοι ἀριθμοί. Τούτο ἐν συνδυασμῷ μέ τήν ἔξισω-

σιν τού Einstein $E=mc^2$, ήνοιειαν τόν δρόμον τῆς κατανοήσεως τῆς ἐνεργείας συνδέσεως τού πυρῆνος καὶ τῆς ἐνεργείας οἵτις ἦτο διαθέσιμος ἐπι πυρηνικῶν πηγῶν. Το 1930-1940 ἔχομεν τήν ἐπινόησιν τῶν ἐπιταχυντῶν. Το 1932 ἐπετεύχθη ἡ τεχνητή ραδιενέργεια καὶ ἡ ἀνακάλυψις τοῦ νετρονίου καὶ τοῦ θετικοῦ ἡλεκτρονίου. Ἡ ἀνακάλυψις τοῦ νετρονίου ἀποτελεῖ ἐν νέον δρόσημον εἰς τήν πυρηνικήν ἐπιστήμην. Το 1938 (ἀνεκοινώθη ἀρχάς 1939) ἔχομεν τήν σχάσιν τοῦ πυρῆνος ὑπό τῶν χημικῶν Hahn καὶ Strassmann. Ἡ σχάσις τοῦ πυρῆνος μέ νετρόνια δέν εἶναι τόσον σκουδασία δσον τό γεγονός δτι ἡ σχάσις συνοδεύεται ἀπό ἔκλυσιν περισσοτέρων νετρονίων. Τό γεγονός τούτο ἔδωσε τήν δυνατότητα τῆς χρησιμοποίησεως τῆς ἀλυσιτῆς ἀντιδράσεως. Εκεῖνο τό δποτον ἀξίζει νά σημειωθῇ εἶναι δτι ἐνδείξεις ἐπί τοῦ φαινομένου τῆς σχάσεως ὑπῆρξαν ηδη ἀπό το 1934, ἀλλά τή διαπίστωσις ὑπό τῶν Hahn καὶ Strassmann δτι κατά τόν βομβαρδισμόν τοῦ οὐρανίου διά νετρονίων παράγεται. Βα, ὠδήγησεν τούτους εἰς τήν ἀνακάλυψιν τῆς σχάσεως.

Το 1942 ἔχομεν τόν πρώτον πυρηνιόν ἀντιδραστήρα, εἰς τό Chicago. Το 1945 τήν πρώτην ἀτομικήν βόμβαν καὶ ἀπό τοῦ τέλους τοῦ δευτέρου παγκοσμίου πόλεμου τήν χρησιμοποίησιν τῆς πυρηνικῆς ἐνεργείας εἰς είρηνικούς σκοπούς. Το 1953 ἀνεκαλύφθη τό νετρίνον. Είς τά τελευταῖα ἔτη ἔχομεν τήν κατασκευήν ἴσχυρῶν ἐπιταχυντῶν, οἵτινες ἀποτελοῦν ἴσχυρόν δπλον εἰς τήν φυσικήν τῶν σωματίων καὶ τήν μελέτην τῶν πυρηνικῶν δυνάμεων.