

1. ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1. Φυσική ραδιενέργεια.

'Η ραδιενέργεια, ήτις συνίσταται εἰς τήν ἐκπομπήν, ὥπό τηνος ὑλικού, αἱ β-σωματίων ἢ γ-άκτινοβολίας, εἰναις ἴδιότης τοῦ πυρήνος τῶν ἀτόμων τοῦ ραδιενεργοῦ ὑλικοῦ. 'Ἐάν δέσωμεν εἰς λειτουργίαν συσκευήν μετρήσεως τῆς ραδιενεργείας, θά παρατηρήσωμεν δτι δεικνύει ραδιενέργειαν μολονότι δέν ἔτενη πλησίον ταύτης ραδιενεργοῦ οὐσία. 'Η ραδιενέργεια αὕτη, καλούμενη ραδιενέργεια ὥποστρώματος, προέρχεται α) ἐκ τῆς κοσμικῆς ἀκτινοβολίας καὶ β) ἐκ τῶν φυσικῶν ραδιενεργῶν στοιχείων.

1.2. Φυσικῶς ραδιενεργά στοιχεῖα.

Μετά τήν ἀγαπάλυθιν τῆς ραδιενεργείας ὥπό τοῦ Be-cquerel ἥρχισεν ἡ συστηματική ἔρευνα τῶν στοιχείων τοῦ περιοδικοῦ συστήματος διά τήν διαπίστωσιν τῆς ραδιενεργείας ἢ μή τούτων.

Εὑρέθη δτι δλα τά στοιχεῖα ἀτινα ἔχουν ἀτομικόν ἀριθμόν μεγαλύτερον τοῦ 33 (Βισμούνθιον) εἶναι ραδιενεργά, καὶ ἀνήκουν εἰς τὰς τρεῖς ραδιενεργούς σειράς ἢ οἰκογενείας, ἤτοι τοῦ οὐρανίου, τοῦ θορίου καὶ τοῦ ἀντινίου. Τά ραδιενεργά στοιχεῖα ἀτινα εὑρίσκονται εἰς γενετικήν σχέσιν μεταξύ των, ἀποτελούν μίαν σειράν ἢ οἰκογένειαν. Λί τρεῖς αὗται σειραί περιλαμβάνουν δλα τά φυσικῶς ραδιενεργά στοιχεῖα τῆς περιοχῆς ταύτης ἀτινα καρκινηρίζονται ὡς βαρέα στοιχεῖα.

Περαιτέρω εὑρέθη δτι καὶ ἔτερα στοιχεῖα ἐνεργάντεον ραδιενέργειαν. 'Ο πίναξ (1.1) δίδει τά εἰς τήν φυσικήν υπάρχοντα ραδιενεργά στοιχεῖα ἐκτός τῶν προσιναφερθεισῶν τριῶν σειρῶν τοῦ οὐρανίου, θορίου καὶ ἀντινίου. Τά ἐλαφρά φυσικῶς ραδιενεργά στοιχεῖα ὡς τρίτιον, ἀνθραξ-14 βαρύλιον-7 καὶ βηρύλλιον-10 δημιουργοῦνται εἰς τήν ἀτμόσφαιραν

ΠΙΝΑΚΗ 1.1. Φυσικῶς ραδιενέργα στοιχεῖα ἐκτός τῶν σειρῶν οὐρανίου, θορίου καὶ ἀντιγίου.

Στοιχεῖο	$t_{1/2} (\text{yr})$	τύπος διανομῆς
^{40}K	1.27×10^9	β
^{20}V	4.8×10^{14}	β
^{87}Rb	4.7×10^{10}	β
^{113}In	6×10^{14}	β
^{129}La	1.1×10^{11}	β
^{144}Nd	2.4×10^{18}	α
^{147}Sm	1.2×10^{11}	α
^{158}Gd	1.1×10^{14}	α
^{174}Hf	2×10^{18}	α
^{176}Lu	2.2×10^{10}	β
^{167}Re	6×10^{10}	β
^{169}Pr	7×10^{11}	α
^{180}Pr	$\sim 10^{18}$	α
^{204}Pb	1.4×10^{17}	α

ρεν ἐκ τῆς κοσμικῆς ἀκτινοβολίας διά πυρηνικῶν ἀντιδράσεων.

Η ραδιενέργεια τοῦ καλίου διείλεται εἰς τὸ ἴσοτοπον ^{40}K ή περιεκτικότης τοῦ διοίου εἶναι 0,0118%, δύναται δέ να χρησιμοποιηθῇ διά τόν ποσοτικόν προσδιορισμόν τούτου. Η φυσική ραδιενέργεια τῶν ὄρυκτῶν γενικῶς χρησιμεύει εἰς τὴν γεωχρονολογίαν τῶν πετρωμάτων. Η ραδιενέργεια τοῦ ^{14}C χρησιμεύει, ἐκτός τῶν ἄλλων, καὶ διά τον προσδιορισμόν τῆς ἡλικίας φυτῶν ἢ ζωίων δργανισμῶν. Η φυσική ραδιενέργεια τοῦ τριτίου δύναται διοῖως γάρ χρησιμοποιηθῆναι καὶ διά τον προσδιορισμόν τοῦ χρόνου σχηματισμοῦ υπογείων ὑδάτων ολπ. Τὰ δρυκτὰ τοῦ οὐρανίου καὶ τοῦ θορίου ὡς καὶ τὰ ἄλλατα τοῦ καλίου ἀποτελοῦν τὴν κυριաτέραν πηγὴν τῆς φυσικῆς ραδιενέργειας. Δέν υπάρχει ἀμφιβολία δτι εἰς τὸ μέλλον, δταν· ἡ τεχνική ἔξελιχθῇ περαιτέρω, θά ἀνακαλυφθῷν καὶ ἕτερα φυσικῶς ραδιενέργα στοιχεῖα θεωρούμενα σήμερον ὡς σταθερά. Η κυρία δυσκολία ἔγκειται εἰς τό γεγονός δτι· ἡ μητρά ραδιενέργεια δρεσμένων ἴσοτόπων, εὑρίσκομένων εἰς μικρά ἀναλογίαν ἐν σχέσει πρᾶς τὰ μῆ ραδιενέργα ἴσοτο-

πα, συγχέεται μέ τήν ραδιενέργειαν τοῦ ύποστρώματος ήττις ὄφείλεται, ὡς ἀνεψέρθη, εἰς τήν κοσμικήν ἀκτινοβόλίαν καὶ τήν υπαρξίαν τῶν U, Th, K κλπ. Ἐλλά καὶ εἰς τὰς θερμοπυρηνικάς ἐκρήνεις.

1.3. Ἐλλείποντα καὶ νέα στοιχεῖα τοῦ περιοδικοῦ συστήματος.

Ἡ σπουδαίοτης τῆς ραδιενέργειας εἰς τήν ἀνακάλυψιν νέων στοιχείων, ἥτοι τῶν ἐλλειπόντων ἀπό τὸ περιοδικόν σύστημα τοῦ Mendelejeff, καὶ τῶν πέραν τοῦ οὐρανίου στοιχείων, εἶναι προφανής.

Αἱ μέθοδοι ἀνιχνεύσεως τῶν ἀκτινοβολιῶν, αἱ δποῖαι ἐκπέμπονται, ἀπό τὰ ραδιενέργα στοιχεῖα, εἶναι τόσον εὐαίσθητοι ὡστε νά δύνανται ν' ἀνιχνεύσονται καὶ ἐλάκισται ποσότητες τούτων. Ἡ σύνθεσις στοιχείων, μή υπαρχόντων, εἰς τήν φύσιν, ἐπετεύχθη διὰ πυρηνικῶν ἀντιδράσεων. Ἡ ἀπομόνωσις δημος καὶ ἡ διαπίστωσις τούτων ἐγένετο διὰ ραδιοχημικῶν μεθόδων.

Ἐκ τῆς ραδιενέργος διασπάσεως τοῦ οὐρανίου, ἀναπλυφθέντος τό 1789 ύπό τοῦ Klaproth, καὶ τοῦ Φορέου, ἀνακαλυφθέντος ύπό τοῦ Berzelius τό 1829, διεπιστώθηται σαν διά ραδιοχημικῶν μεθόδων ἑπτά στοιχεῖα, ἐλλείποντι ἀπό τό περιοδικόν σύστημα. Ταῦτα εἶναι: Po (Z=34), At (Z=35), Rn (Z=36), Fr (Z=37), Ra (Z=88), Ac (Z=39) καὶ Pa (Z=91). Διά πυρηνικῶν ἀντιδράσεων παρεσκευάσθησαν τά Tc (Z=43), Pm (Z=61) καὶ At (Z=85). Τό At παρεσκευάσθη ἀρχικῶς διά πυρηνικῶν ἀντιδράσεων καὶ ἀργότερον ἀνευ ρέθη εἰς τήν σειράν τοῦ ἀκτινίου. Διά πυρηνικῶν ἀντιδράσεων παρεσκευάσθησαν καὶ τά πέραν τοῦ οὐρανίου στοιχεῖα, καλούμενα ύπερουράνια στοιχεῖα, ἥτοι: Np (Z=93), Pu (Z=94)

$\text{Am}(Z=95)$, $\text{Cm}(Z=96)$, $\text{Bk}(Z=97)$, $\text{Cf}(Z=98)$, $\text{Es}(Z=99)$, $\text{Fm}(Z=100)$, $\text{Md}(Z=101)$, $\text{No}(Z=102)$, $\text{Lr}(Z=103)$ καὶ τὸ στοιχεῖον 104 διὰ τὸ δποτὸν ἐπροτάθη τὸ ὄνομα *Kurtschatovium*.

Ἡ παρασκευὴ τῶν ἀνωτέρω ἀναφέρεται: εἰς ἔτερον κεφάλαιον.

Τὰ ραδιενεργά στοιχεῖα οὐτοινα δέν ἔχουν σταθερά ή σπτοπα εἶναι σήμερον 23 μέ ἀτομικούς ἀριθμούς $Z=43$, $Z=61$ καὶ $Z > 83$ ἡτοι $Z=84$ ἕως $Z=104$.

Δεδομένου τοῦ χρόνου υποδιπλασιασμοῦ τῶν ραδιενεργῶν στοιχείων, δύναται νά λεχθῇ δτι μετά πάροδον λίαν μεγάλου χρόνου ($\sim 10^{12}$ ἔτη) θά ἡτο δυνατόν νά διασπασθῇ πλήρως τὸ οὐράνιον καὶ θόριον, ὡς καὶ τὰ προϊόντα τῆς ραδιενεργοῦ διασπάσεως τούτων, δτε τὸ περιοδικόν σύστημα, μέ τὰ σημερινά δεδομένα, θά διεκόπτετο εἰς τὸ στοιχεῖον *Bi* ($Z=83$).

1.4. Ραδιενεργός διάσπασις

Ἡ παρουσία ραδιενεργῶν ἀερίων κατά τήν ραδιενεργόν διάσπασιν τοῦ ραδίου, θορέαν καὶ ἀκτινίου, διηυκόλυνεν, ἀρχικῶς τά μέγιστα, τήν μελέτην τῆς ραδιενεργοῦ διασπάσεως, καθ' ὅσον λόγω τῆς ἀερίου καταστάσεως καὶ τοῦ ἀδρανοῦς χαρακτήρος τούτων, διαχωρισμός καὶ οἱ σχετικοὶ ύπολογισμοί ήσαν εύκολωτεροι. Βάσει τῶν πειραμάτων δεδομένων, οἱ Rutherford καὶ Soddy ἀνέπτυξαν τήν θεωρίαν τῶν ραδιενεργῶν μετασχηματισμῶν καθ' ἥν: 1) αἱ ραδιενεργοὶ οὐσίαι μετασχηματίζονται αὐθορμήτως μέ ταχνητα χαρακτηριστικήν τῆς ραδιενεργοῦ οὐσίας, καὶ 2) τὰ προϊόντα τῆς ραδιενεργοῦ διασπάσεως εἶναι χημικῶς διάφορα τοῦ μητρικοῦ, λόγω ἐκπομπῆς α-σωματίων ή ἡλεκτρονίων. Συνεπῶς οἱ αδήποτε μεταβολή εἰς τήν ραδιενέργειαν τῆς πηγῆς 86

συνοδεύεται άπό μερικήν ή δλικήν έξαράνισιν τούς ένός χημικού είδους ύποδ σύγχρονον αύξησιν ή έμφανισιν τούς έτερους. Η ραδιενεργός αύτη μεταβολή είναι ένδοστομικής φύσεως. Αξίζει νά σημειωθῇ ότι η ίδεα τής ύπαρξεως τού πυρήνος έμφαντεται όπτω έτη βραδύτερον.

1.5. Άνακαλυψις τῶν ίσοτριπων.

Η θεωρία τής ραδιενεργού διασπάσεως τῶν Rutherford και Soddy έβασιζετο εἰς τὸ γεγονός ότι τὰ άνακαλυψθέγτα γένα είδη ὡς τὸ Ro, Ra, Ac, ήσαν νέα στοιχεῖα καὶ συνεπῶς ή τοποθέτησίς των εἰς τό περιοδικό σύστημα δέν έπειρουσίαζεν δυσκολίας. Εκτός τούτων διεπιστώθησαν ἐν συνεχείᾳ ραδιενεργά είδη, ὡς τὰ UX, , RaTh, Io μέχμικάς ήδιστητας δμοίας μέν πρόστις τὸ Ταίλλε μέδιαφόρους χρόνους ύποδιπλασισμού. Οιαδήποτε πρασπάθεια διαχωρισμού τούτων μεταξύ των άπετνγχανεν. Τό, RaD εἶχεν δμοίας χημικάς ήδιστητας πρόσ τὸν Pb, οἱ δέ Hēvesy καὶ Paneth ἔχρησιμοισθίσαν 20 διαφόρους χημικάς μεθόδους διά τόν διαχωρισμόν τούτων ἀλλ' ἀπέτυχον. Έν τής μελέτης τής ραδιενεργού διασπάσεως τῶν τριῶν ραδιενεργῶν σειρῶν διεπιστώθη ή ឧκαρξις 40 περίπου διαφόρων ραδιενεργῶν εἰδῶν, ἐνώ αἱ θέσεις τούς περιοδικούς συστήματος ήσαν μόνον 12 (Z=80-92).

Τό πρόβλημα ἐλύθη ύποδ τοῦ Soddy τό 1912, ήτοι ἐν έτος μετά τήν διατύπωσιν τού προτόπου ἀτόμου ύποδ τοῦ Rutherford, καθ' δ γίνεται σαφῆς διάκρισις μεταξύ χημικῶν ήδιστητων τού ἀτόμου καὶ τῶν ραδιενεργῶν ήδιστητων αύτού. Αἱ ραδιενεργοί ήδιστητες προέρχονται ἐκ τού θεικού πυρήνος τού ἀτόμου καὶ είναι ἀποτέλεσμα μή ἀντι-

στρεπτής μεταβολής, ένω αἱ χημικοὶ ιδιότητες συνδέονται μὲ τὰ τροχιακά ήλεκτρόνια. 'Επίσης, ἐθεωρεῖτο ὅτι ὁ φετινός πυρῆν, συνιστάμενος ἐκ πρωτονίων καὶ ήλεκτρονίων, εἴχε φορτίον λίστων πρᾶξ τὸ ἀλγεβρικόν ἀδροισμά θετικῶν καὶ ἀρνητικῶν φορτίων. 'Ο Soddy διεπύπωσε τὴν ἀποφίν οὕτω τὰ ραδιενεργά ταῦτα εἴδη, ἀτινα δέν. ήδηναντο νά διαχωρίσθον χημικῶς μεταξύ των, ήσαν ἀτομα τὰ δοῦλα εἶχον τὸ αὐτὸ δλικόν φορτίον ἀλλά διέφερον ὡς πρᾶξ τὸ φορτίον ἐκάστου σημείου. Συνεπῶς ὡς χημικῶς ταυτόσημα ἀτομα θα ἔπειπε νά τοποθετηθούν εἰς τὴν αὐτήν θέσιν τοῦ περιοδικοῦ συστήματος. Δηλαδή τὰ στοιχεῖα ταῦτα ήσαν ίσδτοπα. 'Επί παραδείγματι τὸ ^{238}U ὑψιστάμενον ραδιενεργόν διασπάσιν διέκπομπής ἐνδεισ- α-σωματίου καὶ ἐν συνεχείᾳ δέν διαδοχικῶν β-σωματίων καταλήγει εἰς τὸ ^{234}U . 'Αμφτερα ἔχουν 92 τροχιακά ήλεκτρόνια καὶ τὸ αὐτὸ δλικόν θετικόν φορτίον πυρῆνος, ήτοι +92. 'Αλλά δ πυρῆν ^{238}U έχει, κατά τὰς τότε ἀντιλήφεις, $92+146$ πρωτόνια καὶ 146 ήλεκτρόνια ήτοι $238 + \text{φορτία}$ καὶ 146 - φορτία (σύνολον +92 φορτία), ένω δ πυρῆν ^{234}U έχει $92+142$ πρωτόνια καὶ 142 ήλεκτρόνια ήτοι $234 + \text{φορτία}$ καὶ 142 - φορτία (σύνολον +92 φορτία).

'Η πρώτη πειραματική ἀπόδειξις τῆς ψηφρέεως τῶν ίσοτόπων προήλθεν ἀπό μετρήσεις ἀτομικοῦ βάρους. Τὸ $\text{U}-238$ καὶ τὸ $\text{Th}-232$ διαδικασίαν ραδιενεργῶν διασπάσεων καταλήγουν τελικῶς εἰς τὸν Pb . 'Ἐφ' ὅσον δμως έχόμεν μεταβολήν εἰς τὴν μᾶζαν μόνον εἰς τὴν α-διάσπασιν, ἔπειτα δ τὸ Pb , δ προερχόμενος ἐκ τοῦ $\text{U}-238$, θά έχη ἀτομικὸν βάρος διάφορον κατά 2 μονάδας ἀπό τὸν Pb τὸν προερχόμενον ἐκ τοῦ Th . Τὸ 1913 δ Soddy θέρεν τιμήν 207, 74 (~208)

διά τόν Pb τόν προερχόμενον ἐκ τοῦ Th, ἐνῷ ὁ Richards εὗρε τιμήν 206,08 διά τόν Pb τόν προερχόμενον ἐκ τοῦ U. Ἡ πρώτη παρατήρησις ἐπὶ τῆς υπάρξεως ἰσοτόπων, μή βασιζομένη ἐπὶ τῆς ραδιενέργειας, ἐγένετο ύπο τοῦ Thomson τὸ 1912. Ήτάν τήν ἀπόκλισιν δέσμης ἴοντων τοῦ Ne ύπο τήν ἐπίδρασιν μαγνητικοῦ καὶ ἡλεκτρικοῦ πεδίου, δι-επίστωσεν δτι ἐλαυνόντο δύο παραβολαῖς ἐπὶ τῆς φωτο-γραφικῆς πλακός, ἀντιστοιχούσαι εἰς №-20 καὶ εἰς №-22. Ο μαθητής αὐτοῦ, Aston, ἔχρησιμοποίησε διαφόρους χημικῶν μεθόδους διά τήν ἐπίτευξιν τοῦ διαχωρισμοῦ ἄλλ' αγεν ἐπιτυχίας. Οταν δημιώσεις ύπέβαλε τό Ne εἰς ἐπανειλημένην διάχυσιν ἔλαβε δύο κλάσματα τά δποια ἥσαν χημικῶς δμοια, ἄλλα ἀτομικοῦ βάρους 20,15 καὶ 20,28. Τοῦτο ἐθεωρήθη ύπο τοῦ Aston ὡς ἔνδειξις τῆς υπάρξεως δύο ἰσοτόπων τά δποια, συμφωνῶς πρός τήν κινητικήν θεωρίαν τῶν ἀερίων, διεχέοντο μέ ταχύτητα ἀντιστρόφως ἀνάλογον τῆς τετραγωνικῆς ρίζης τοῦ μοριακοῦ βάρους. Τό ἀξιοσημείωτον εἰς τήν ἐργασίαν ταύτην εἶγαι δτι ἡ χρησιμοποιηθεῖσα ύπο τοῦ Aston μέθοδος τῆς διαχύσεως ἀποτελεῖ τήν πρώτην διεργασίαν διαχωρισμοῦ τῶν ἰσοτόπων ἥτις βασικῶς ἦτο ἡ ἴδια μέ τήν χρησιμοποιηθεῖσαν ητά τόν B^o παγκόσμιον πόλεμον μέθοδον ἐμπλουτισμοῦ τοῦ U. Τό 1919 δ Aston ἐτελειοποίησε τήν υστερεύην Thomson ἥτις καὶ ὀνομάσθη ἔκτοτε φασματογράφος τῶν μαζῶν. Διά τοῦ φασματογράφου τούτου ἀπέδειξεν δτι δχι μόνον τό Ne ἄλλα καὶ πλεῖστα στοιχεῖα συνίστανται ἐξ ἰσοτόπων, τῶν δποιαν καὶ μᾶζας εἶγαι λίαν πλησίον ὑπερακίνων ἀριθμῶν. Οὕτως εὑρέθη δτι τό χλωριον συνίσταται ἐκ δύο ἰσοτόπων μάζης 34,968 καὶ 36,965.

Σήμερον έχει διαπιστωθῆ ότι άρισμένα στοιχεῖα συγ-
ίστανται έκ πολλῶν ίσοτόπων, π.χ. ο Sn συνίσταται έκ 10.
σταθερῶν ίσοτόπων, ένων έτερα έξ ένδες μόνον σταθερού ίσοτόπου
ως την. Be, F, Na, Al, P, J, Cs.

Οι Soddy καὶ Fajans διεπιπώσαν, τόν νόμον μετατοπίσε-
ως καθ' όν έν άτομον έκπέμπον α-σωμάτια μετατοπίζεται ο δύο
θέσεις άριστερώτερον εἰς το περιοδικόν σύστημα (ή ώς λέ-
γομέν σήμερον, ο άτομικος άριθμος έλαττονται ήταν δύο) έγω
δταν το άτομον έκπέμπη: β-σωμάτια μετατοπίζεται μέταν θέ-
σιν δεξιώτερον. "Αρα έν άτομον, έκπέμπον άρχικῶς έν α-σω-
μάτιον καί εἴτα διαδοχικῶς δύο β-σωμάτια, ἐπανέρχεται εἰς
τήν άρχικήν αὐτοῦ θέσιν. Έν τούτοις, δημαρχού, έχει μάζαν κα-
τά 4 μονάδας περίπου μικροτέραν καί συνεπῶς εἶναι ίσοτο-
πον τοῦ άρχικοῦ άτόμου. Τούτο έξηγεται διατί τά άτομικά βά-
ρη τῶν έν τῇ φύσει στοιχείων έχουν άτομικόν άριθμόν μή
ἀκέραιον άριθμόν. Τοιαντα στοιχεῖα εἶναι μίγματα περισσο-
τέρων ίσοτόπων.

Βάσει τοῦ νόμου τούτου κατέστη δυνατόν νά προβλεφθῆ
ή υπαρξίας νέων ραδιενεργῶν ίσοτόπων εἰς τάς τρεῖς ραδιε-
νεργούς σειράς.

1.6. Νουκλίδια.

Τά συστατικά τοῦ πυρήνος εἶναι τά πρωτόνια καί τά
νετρόνια ήτινα χαρακτηρίζονται ώς νουκλεόνια. "Εκαστού
είδος πυρήνος καθορίζεται έκ τοῦ άριθμοῦ τῶν νουκλεονί-
ων αὐτοῦ καί χαρακτηρίζεται ώς νουκλίδιον. Ο δικαίος ά-
ριθμός τούτων άποτελεῖ τόν μαζικόν άριθμόν τοῦ νουκλίδι-
ου, Α, ήτοι:

$$\Lambda = N+Z$$

"Ενδια N = δ' ἀριθμός τῶν νετρονίων καὶ Z = δ' ἀριθμός τῶν πρωτονίων τοῦ πυρήνος. 'Ο ἀριθμός Z παριστά καὶ τὸν ἀτομικὸν ἀριθμόν. Τό διπλον ἐν τῷ συνδλῷ εἶναι οὐδέτε προν παθ' ὅσον φέρει ἀριθμὸν τροχισκῶν ἡλεκτρόνιων ήσον πρός τὸν ἀριθμὸν τῶν πρωτονίων. 'Ο συμβολισμός ἐνδια νουκλιδίου ἔχει ὡς ἑξῆς: A_S ή A_S . S = τὸ εἶδος τοῦ πυρήνος, A=δ' μαζικός καὶ Z=δ' ἀτομικός ἀριθμός αὐτοῦ.'Π τοποθέτησις τοῦ μαζικοῦ ἀριθμοῦ εἰς τὸ ξνω ἀριστερὸν διευκολύνει τὴν ἀναγραφὴν τοῦ φορτίου ἐνδια ίῶντος.'Ἐπειδὴ τὸ εἶδος τοῦ πυρήνος, S, χαρακτηρίζεται διὰ τοῦ χημικοῦ συμβόλου, η ἀναγραφὴ τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ δέν εἶναι ἀπαραίτητος παθ' ὅσον οὗτος παθορίζεται ἀπὸ τὸ χημικὸν σύμβολον. 'Ως ἐκ τούτου συνήθως δ' συμβολισμός ἐνδια νουκλιδίου ἔχει ὡς ἑξῆς: A_S ή S-A. 'Ἐπί παραδείγματι δυνάμεθα νά γράψωμεν $^{24}_{11}\text{Na}$ ή $^{24}_{11}\text{Na}$ ή Na-24. Εἰς τὴν τελευταίαν περίπτωσιν μετά τὸ χημικὸν σύμβολον τίθεται παύλα καὶ ἀκολουθεῖ δ' μαζικός ἀριθμός.

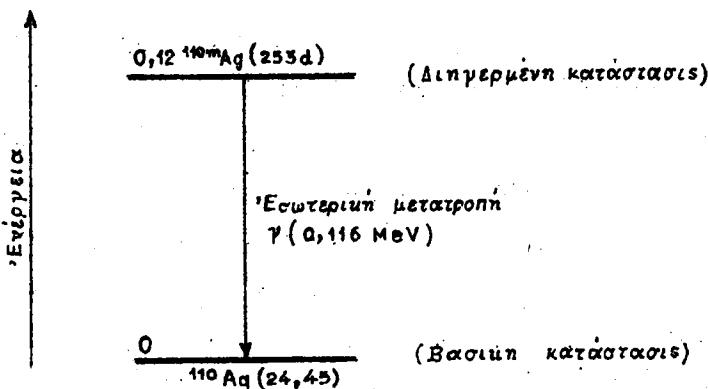
'Εάν δύο νουκλιδίαι ἔχουν τὸν αὐτὸν ἀριθμὸν πρωτονίων καὶ διάφορον μαζικὸν ἀριθμόν, ήτοι διάφορον ἀριθμὸν νετρονίων, καλούνται ἰσότοπα νουκλιδίαι. 'Ἐφ' ὅσον τὰ δύο ταῦτα νουκλιδίαι ἔχουν τὸν αὐτὸν ἀριθμὸν πρωτονίων, ἔπειται δτὶ θά ἀνήκουν εἰς τὸ αὐτὸν χημικὸν στοιχεῖον καὶ συνεπῶς η διαφορά των θα διείλεται εἰς τὸν διάφορον ἀριθμὸν νετρονίων. 'Ἐπί παραδείγματι $^{35}_{17}\text{Cl}$, $^{37}_{17}\text{Cl}$ εἶναι ἰσότοπα. Συνήθως δ' δρος "ἰσότοπον" χρησιμοποιεῖται διὰ νά παθορίσῃ, ὅπό τὴν εύρυτέραν ζεννοιαν, κάθε πυρηνικὸν εἶδος. Οὕτω λέγομεν ραδιενέργα ἰσότοπα, ἐνώ πράγματι ἐννοούμεν ραδιενέργα νουκλιδίαι. 'Αλλὰ εἰς τὴν περίπτωσιν ταῦτην δέν θεωρούμεν εἴδη πυρηνῶν τὰ διοῖα

έχουν τόν αύτόν ἀτομικόν ἄριθμόν καί συνεπῶς ταῦτα δέν εἶναι ίσοτοπα. 'Ο δρος "ίσοτοπον" πρέπει νά χρησιμοποιήθαι μεταξύ τῶν διαφόρων νουκλιδίων τοῦ αὐτοῦ στοιχείου. 'Εάν δύο νουκλίδια έχουν τόν αύτόν ἄριθμόν νετρονίων ἀλλά διάφορον ἄριθμον πρωτονίων, τότε καλούνται ταῦτα ίσοτονα νουκλίδια. Π.χ. ^{40}Ca , ^{39}K . 'Εάν δύο νουκλίδια έχουν τόν αύτόν μαζικόν ἄριθμόν ἀλλά διάφορον ἀτομικόν ἄριθμόν καλούνται ίσοβαρή νουκλίδια π.χ. ^{40}K , ^{40}Ca . Ταῦτα έχουν μαζικόν ἄριθμόν 40 ἀλλά διαφέρουν ὡς πρός τό Z. 'Αλλά, μολονότι ταῦτα έχουν τόν αύτόν μαζικόν ἄριθμόν, δέν σημαίνει στις έχουν τήν αύτήν άκριβῶς μᾶζαν. Ουτως ή μᾶζα τοῦ ^{40}K εἶναι 39,9640079, ἐνώ τοῦ ^{40}Ca εἶναι 39,9625892. 'Π διαφορά αυτή εἶναι μικρά, ἐν τούτοις δυμας άντιστοιχεῖ, εἰς σοβαρά γένεργειακήν διαφοράν τῶν δύο πυρήνων.

'Εάν εἰς δύο ίσοβαρή νουκλίδια δέ ἄριθμός τῶν πρωτονίων τοῦ ένός ίσονται μέ τόν ἄριθμόν τῶν νετρονίων τοῦ ἔτερου καί δέ ἄριθμός τῶν νετρονίων τοῦ πρώτου μέ τόν ἄριθμόν τῶν πρωτονίων τοῦ δευτέρου, τότε τά νουκλίδια ταῦτα δύομάζονται κατοπτρικά νουκλίδια. Π.χ. ^{16}C , ^{16}B . Εἰς τό παράδειγμα τοῦτο έχομεν Z=6 διά τόν ^{11}C καί N=6 διά τό ^{11}B . 'Ομοίως έχομεν N=5 διά τόν ^{11}C καί Z=5 διά τό ^{11}B .

Εἶναι έπίσης δυνατόν, δύο νουκλίδια μέ τόν αύτόν μαζικόν ἄριθμόν καί τόν αύτόν ἀτομικόν ἄριθμόν νά διαφέρουν ὡς πρός τό ένεργειακόν περιεχόμενον τούτων. Εἰς τήν περίπτωσιν ταῦτην πρόκειται περί τῶν αύτῶν νουκλιδίων, εὐρισκομένων δυμας εἰς διάφορον ένεργειακήν κατάστασιν. Τά νουκλίδια ταῦτα χαρακτηρίζονται ὡς ίσομερή νουκλίδια. Τό εύρισκομενον εἰς υψηλοτέρων ένεργειακήν στάθμην νουκλίδια,

ώς είς τό σχήμα (1.1) δύναται είς χρόνον λίγων μικρών ($t_{1/2} < 10^{-14}$ sec) νά μεταπέση είς τήν βασικήν κατάστασιν.



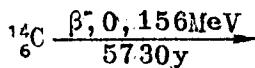
Σχ. 1.1. Ισομερή νουκλίδια.

Τότε δμιούργεται περί διηγερμένης, άπλως, καταστάσεως.' Εάν δημιουργείται έχη έπιπλη διάρκειαν, ήτοι δύναται μάλιστα νά φθάσῃ καί μέχρι πολλών έτών, τότε δμιούργεται περί ισομερῶν νουκλίδιων. 'Η διαχωρίστική γραμμή μεταξύ ισομερῶν καί διηγερμένης καταστάσεως δέν είναι σαφής. Τά ισομερή νουκλίδια συμβολίζονται διά τούς γράμματος π τιθεμένου μετά τόν μαζικόν άριθμόν, π.χ. ^{110m}Ag ή $Ag-110m$. 'Εάν ύπάρχουν πλείονα ισομερή, τότε τίθεται: m_1 , m_2 κλπ. π.χ. $^{124m_1}Sb$ ($t_{1/2}=1,5$ min), $^{124m_2}Sb$ ($t_{1/2}=21$ min).

'Ο ισοτοπικός άριθμός, I, παριστά τήν περίσσειαν τῶν νετρονίων έναντι τῶν πρωτονίων, ήτοι $I=N-Z=A-2Z$. Π.χ. $^{18}_7N$ είς τά δύο ταυτα νουκλίδια $I=10-3=2$ καί $I=9-7=2$.

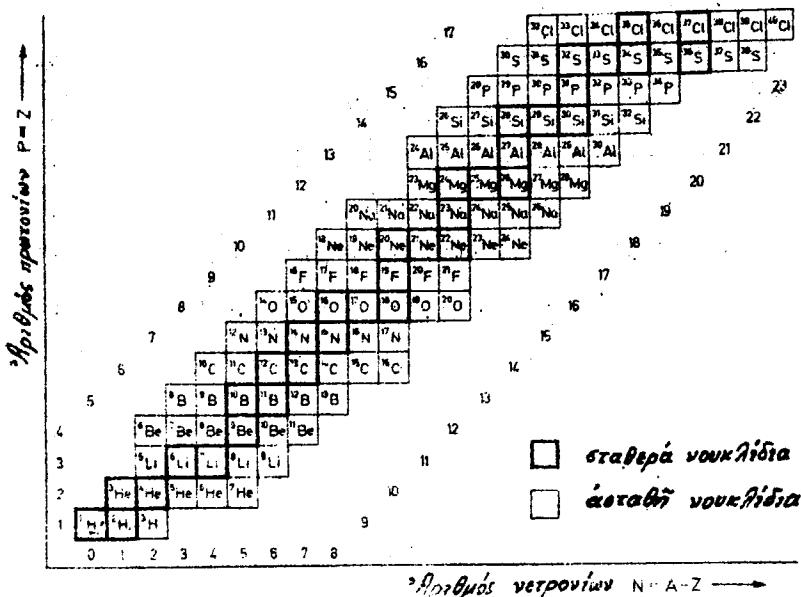
‘Ο μαζικός άριθμος, A, γενικώς είναι ανιέραιος άριθμος, δλίγον διάφορος της πραγματικής μάζης του πυρήνος, M .’ Η διαφορά A-M καλεῖται: ἔλλειμα μάζης καί ἀποτελεῖ μέτρον της σταθερότητος του νουκλιδίου. ‘Ο ἀκριβής προσδιορισμός τῶν ἀτομικῶν μαζῶν γίνεται διά τοῦ φασματομέτρου μάζης, ἀλλά ἡ γνωστή σχέσις τοῦ Einstein E=mc² κανιστᾷ δυνατήν καί δευτέραν μέθοδον προσδιορισμοῦ τούτων. “Οταν λαμβάνῃ ζώρων μία πυρηνική έντιδρωσις εἰς τὴν ὁποῖαν είναι γνωσταί δλαι: αἱ μᾶζαι τῶν ἀντιδρώντων καί προϊδντων ἐκτῆς μιᾶς, δυνάμεθα νά εὑρωμεν τὴν ἀγνωστον μᾶζαν, ἐάν μετρήσωμεν τὴν μεταβολήν της ἐνεργείας τοῦ συστήματος. Τούτο δέ, διότι: ίσχυει: ἡ ἀρχή τῆς διατηρήσεως μάζης καί ἐνεργείας.

Διά τὸν πλήρη χωρακτηρισμόν ἐνδει νουκλιδίου θά πρέπει νά γράφωμεν τὸ εἶδος καί τὴν ἐνέργειαν της ἀκτινοβολίας τῆν ὁποῖαν ἐκπέμπει, ὡς καί τὸν χρόνον ὑποδιπλασιασμοῦ τούτου π.χ. διά τὸν ¹⁴₆C δυνάμεθα νά γράφωμεν:



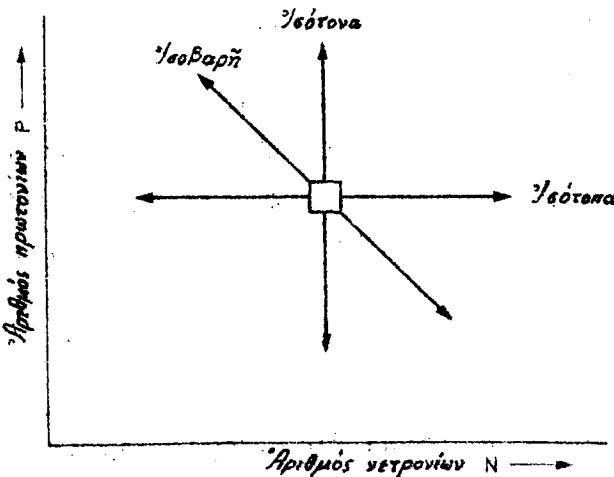
1.7. Χάρτης νουκλιδίων.

‘Ο χάρτης τῶν νουκλιδίων βασίζεται: ἐπί τῆς σχέσεως πρωτονίων γετρονίων τοῦ πυρῆνος. ’Εάν εἰς τόν ἔνα θέσονα τεθῇ δ ἀριθμός τῶν πρωτονίων Z καί εἰς τόν ἕτερον δ ἀριθμός τῶν νετρονίων N, δυνάμεθα ἐπί ἐνδει τοιούτου χάρτου νά τοποθετήσωμεν ἀπαντα τὰ νουκλιδία, ὡς φαίνεται: εἰς τό σχῆμα (1-2). Εἰς τόν χάρτην τούτον τά ίσοτοπα νουκλιδία (Z=const) εὑρίσκονται: ἐπί τῶν παραλλήλων πρᾶς τόν θέσονα τῶν νετρονίων εύθειῶν. Τά ίσοτοπα ἐπί καθέτων εύ-



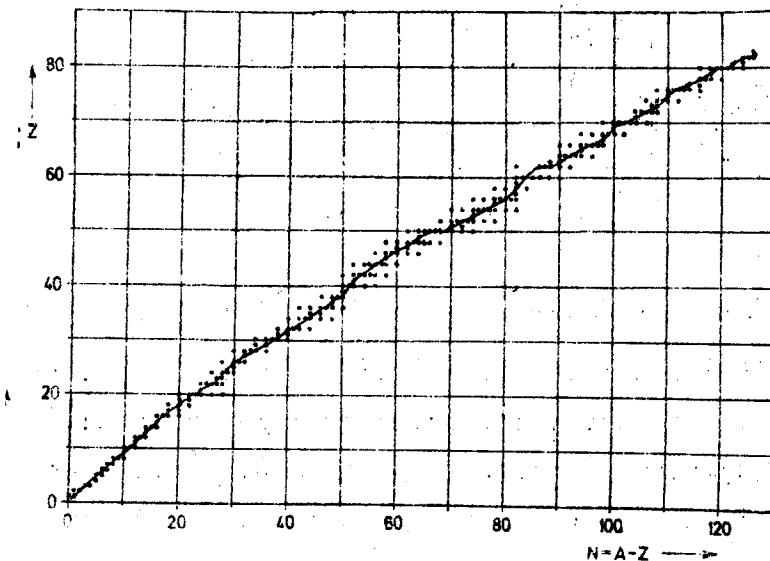
Σχ. 1.2. Τμῆμα γάρτου νουκλίδιων.

Θεωρητικά, τάξις δέ ισοβαρή νουκλίδια επί διαιγωνίου εύθετες (1.3) Νουκλίδια μέ τόν αυτόν ισοτοπικόν άριθμόν κατηνταὶ ἐπίσης επί διαιγωνίου εύθετες. Μέχρι σήμερον εῖναι γνωστά 1300 νουκλίδια τα διοδια τακτανέμονται ἐπί 104 στοιχείων.



Σχ. 1.3. 'Ισότοπα, 'Ισότονα, 'Ισόβαρη νουκλίδια.

Ἐξ αὐτῶν μένον τά 271 εἶναι σταθερά. Ἐάν συνδέσωμεν τά σταθερά ταῦτα νουκλίδια ἐπὶ τοῦ χάρτου τῶν νουκλίδίων, λαμβάνομεν τὴν καλούμένην γραμμήν πυρηνικῆς σταθερότητος ήτις δίδει πλίσιν ἀντιστοιχούσαν εἰς σχέσιν πρωτονίων πρός νετρόνια ἵσην πρός 1:1, ἐνῶ διὰ τὰ βαρέα νουκλίδια καθίσταται 1:1,6 (σχῆμα 1.4). Παρατηρούμεν δηλαδή δτι μέ αβξησιν τοῦ Z, ἀπαιτεῖται μεγαλύτερος ἀριθμός νετρονίων



Σχ. 1.4. Σταθερά νουκλίδια.

διά νά ἔχωμεν σταθερούς πυρῆνας. Τοῦτο θέλει ἔξηγηθῇ εἰς ἔτερον κεφάλαιον. Ἡ θέσις ἐνδέ νουκλίδίου ἐν σχέσει πρός τὴν γραμμήν πυρηνικῆς σταθερότητος καθορίζει τὸν τύπον τῆς ὑπαρενομένης ραδιενεργοῦ διασπάσεως. Ἡ ἀπόστασις δέ ἀπὸ τῆς γραμμῆς ταῦτην καθορίζει τὸν βαθμὸν ἀσταθείας τοῦ πυρῆνος καὶ συνεπῶς, κατά τινα τρόπον, τὸν χρόνον ὑποδιπλασίασμοῦ.

Ἐκ τῶν 271 σταθερῶν νουκλίδίων παρατηρούμεν δτι.

- 162 νουκλίδια έχουν Ζ άρτιον και Ν άρτιον. (πυρήνες α-α)
 55 νουκλίδια έχουν Ζ άρτιον και Ν περιττόν (πυρήνες α-π)
 49 νουκλίδια έχουν Ζ περιπτόν και Ν άρτιον (πυρήνες π-α)
 5 νουκλίδια έχουν Ζ περιττόν και Ν περιττόν (πυρήνες π-π)

(Ταύτα είναι: 2_1H , 6_3Li , $^{10}_5B$, $^{14}_7N$ και $^{180}_{78}Ta$)

Έάν λάβη τις ύπ' άφιν, δτι τά 85% τής μάζης τής γής σύγκεινται έξ ατόμων μέ πυρήνας α-α, καθίσταται σαφές ότι δ συνδυασμός οὗτος είναι λίαν σταθερός. Άντιθέτως η υπαρξία σταθερών πυρήνων π-π δύναται νά θεωρηθῇ ως έξαιρεσίς.

Γενικῶς πυρήνες π-π είναι ραδιενεργοί. (Η ραδιενέργεια του ^{180}Ta δέν έχει διαπιστωθῆ μετά βεβαιότητος). Η σταθερότης γενικῶς τῶν νουκλίδίων θέλει έξετασθῇ εἰς έτερον κεφάλαιον.

1.8. Μάζα νουκλίδίων.

Προηγουμένως άνεφέρθη δτι δ μαζικός άριθμός ένδις νουκλίδίου ίσοςται πρός $Z+N$, ήτοι ίσοςται πρός τὸν άριθμόν τῶν νουκλονίων του πυρήνος και δτι οὗτος δέν συμπίπτει μέ τήν πραγματικήν μάζαν τῶν νουκλίδίων. Η μάζα τῶν νουκλίδίων δέν έκφραζεται, ώς συνήθως, εἰς γράμμαρια, ἀλλὰ εἰς άτομικάς μονάδας μάζης ή εἰς μονάδας ένεργείας, ενV, βάσει τής γνωστής σχέσεως $E=mc^2$. Η μάζα τῶν νουκλίδίων είναι, βεβαίως, μικροτέρα τής μάζης τῶν άτόμων. Αί διδόμεναι δημος εἰς τήν βιβλιογραφίαν τιμᾶς άνωφέρονται εἰς τάς άτομικάς μάζας και δχι εἰς τάς μάζας τῶν πυρήνων. Τούτο δφείλεται εἰς τό γεγονός δτι το εύρισκμενον πειραματικῶς μέγεθος είναι ή άτομική μάζα ή ή διαφορά άτομικῶν μαζῶν και δχι ή μάζα του πυρήνος.

Παλαιότερον είς τήν χημείαν τδ ἀτομικόν βάρος τού φυσικού δεξυγόνου ἐλαμβάνετο ὡς 16. Ἡ χημική αὐτή κλίμαξ ἦτο ικανοποιητική κατά τήν μέτρησιν τῶν ἀτομικῶν βαρῶν διὰ χημικῶν μεθόδων. Ἀλλ' ὅταν ἔξελέγη ἡ κλίμαξ αὐτη δέν ἦτο γνωστόν δτι τό φυσικόν δεξυγόνον εἶναι μῆγμα τριῶν ισοτριπτων, ἥτοι τού ^{16}O , ^{17}O , καὶ ^{18}O . Διὸν ἀκριβεῖς μετρήσεις, ἡ χρησιμοποίησις τοῦ μήγματος τούτου, ἥτοι τοῦ φυσικού δεξυγόνου ὡς στοιχείου ἀναφορᾶς, εἶναι ἐσφαλμένη δεδομένου δτι ἡ σύνθεσις τοῦ μήγματος τούτου δύναται νά μεταβάλλεται ἀπό πηγῆς εἰς πηγὴν. Οὕτως εἶναι δυνατόν νά έχωμεν είς υδατα ποταμῶν ^{18}O είς ποσοστόν 0,198% καὶ είς τό διοξείδιον τοῦ ἀνθρακος είς ποσοστόν 0,208%, ἐνῷ είς τδν ἀέρα εἶναι συνήθως 0,204%. Ἡ δυσκολία αὐτή παρεμπρίσθη διὰ τῆς χρησιμόποιησέως τῆς φυσικῆς κλίμακος, καθ' ἧν ὡς στοιχείου ἀναφορᾶς ἐλήφθη τδ ιστοπον ^{16}O μέ ἀτομικόν βάρος ἔξ δρισμοθ, οσον πρός 16. Συνεπῶς τδ στοιχείου ἀναφορᾶς είς τήν φυσικήν κλίμακα εἶναι ἐλαφρότερον τοῦ στοιχείου ἀναφορᾶς τῆς χημικῆς κλίμακος καὶ ὡς ἐκ τούτου αἱ ἀτομικαὶ μᾶζαι είς τήν φυσικήν κλίμακα θά εἶναι ἀριθμητικῶς ὀλίγον μεγαλύτεραι. Ο λόγος τῶν δύο τούτων κλίμακων εἶναι $(0,99759 \times 16 + 0,00037 \times 17,004507 + 0,00204 \times 18,004875) : 16 = 16,004462 : 16 = 1,000278$. Διὰ τήν μετάβασιν ἀπό τήν φυσικήν είς τήν χημικήν κλίμακα δέον δπως πολλαπλασιάζωμεν ἐπί $\frac{16}{16,004462} = 0,999721$.

Κατά τδ 1961 γίνεται δεκτή μία ἐνιαία μονάδις βασιζόμενη ἐπί τῆς μάζης τοῦ ἀτόμου τοῦ ^{12}C , ληφθείσης ἔξ δρισμοθ, ὡς ίσης πρός 12. Είς τήν κλίμακα ταύτην τδ ^{16}O έχει μᾶζαν 15,994915 καὶ γενικῶς ὁ λόγος μεταξύ κλίμακος ἀναφερομένης είς τδ ^{16}O καὶ κλίμακος ἀναφερομένης είς

τόν ^{12}C είναι: 0,99968218. Δηλαδή είς τήν νέαν κλίμακαν αὶ τιμαὶ τῶν ἀτομικῶν μαζῶν είναι μικρότεραι: κατά 0,0318%. Ήρεν τούτου ἡ διαφορά τῆς νέας ταύτης κλίμακος ἀπό τῆς παλαιᾶς κημικῆς τοιαύτης ὑπέρχεται: εἰς 0,0043% οὕτως ὥστε δλαι: αἱ τιμαὶ τῆς κημικῆς κλίμακος πρακτικῶς παραμένουν ἀμετάβλητοι. Η ἀκριβής μέτρησις τῆς μάζης γίνεται, ώς ἀνεφέρθη, διὰ φασματομέτρων ἢ φασματογράφων μάζης. Διά σωμάτια κινούμενα μέ λίαν μεγάλας ταχύτητας ισχύει ἡ γνωστή σχέσις:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1.1)$$

Ἐνθα m_0 = ἡ μᾶζα ἡρεμίας, v = ἡ ταχύτης τοῦ σωματίου καὶ c = ἡ ταχύτης τοῦ φωτός.

Εἰς τούς ἐπιταχυντάς ἡ ταχύτης τῶν ἐπιταχυνομένων σωματίων προσεγγίζει τήν ταχύτητα τοῦ φωτός καὶ ώς ἐν τούτου ἡ μεγάλη αύξησις τῆς μάζης δημιουργεῖ σοβικάς περιπλοκάς εἰς τήν κατασκευήν ισχυρῶν ἐπιταχυντῶν. Βάσει τῆς σχέσεως τοῦ Einstein, $E = mc^2$, είναι δυνάτος δ ὑπολογισμὸς τῆς ἐλευθερουμένης ἐνέργειας λόγῳ μεταβολῆς μέρους τῆς μάζης τοῦ πυρῆνος.

Η ἀτομικὴ μονάς μάζης ($\alpha.m.u$) ισοῦται: μέ τήν μᾶζαν τοῦ $\frac{1}{12}$ τοῦ ^{12}C ήτοι ισοῦται: μέ $\frac{1}{N} = 1,66044 \cdot 10^{-24}$ gr.

Η ισοδύναμος πρός τήν μᾶζαν ταύτην ἐνέργεια προκύπτει, ώς ἀνεφέρθη, ἐν τῆς σχέσεως $E=mc^2$. Θέτοντες εἰς τήν σχέσιν ταύτην $m = 1,66 \cdot 10^{-24}$ gr καὶ $c = 2,998 \cdot 10^{10}$ cm/sec εύρισκομεν:

$$\begin{aligned} E &= 1,66 \cdot 10^{-24} (2,9975 \cdot 10^{10})^2 = 1,49233 \cdot 10^{-3} \text{ erg} = \\ &= \frac{1,49233 \cdot 10^{-3}}{1,602 \cdot 10^{-6}} = 0,931,48 \text{ MeV} \end{aligned}$$

ήτοι: $1 \text{ amu} \Delta 931,48 \text{ MeV} \approx 931,5 \text{ MeV}$ (1.2)

Είς τήν νέαν κλίμακα, ή μᾶζα τοῦ πρωτονίου, νετρονίου καὶ ήλεκτρονίου εἶναι:

$$m_p = 1,0072766 \text{ a.m.u} \approx 938,256 \text{ MeV}$$

$$m_n = 1,0086652 \text{ a.m.u} \approx 939,550 \text{ MeV}$$

$$m_e = 0,0005436 \text{ a.m.u} \approx 0,511006 \text{ MeV}$$

1.9. Ένεργεια συνδέσεως.

Ως άνεφέρθη προηγουμένως, τό δέ ένεργειακόν περιεχόμενον ένδος συστήματος δίδεται ύπό τής σχέσεως:

$$E = mc^2 \quad (1.3)$$

Η μᾶζα συνεπῶς τοῦ πυρήνος εἶναι κατ' εὐθεῖαν μέτρον τοῦ ένεργειακοῦ περιεχομένου τούτου.

Ἐν σύστημα γενικῶς εἶναι σταθερόν ἐν σχέσει πρός έτερον, ἔαν η διαφορά ένεργειας, βάσει τῆς ἐξισώσεως τοῦ Einstein, εἶναι ἀρνητική, μέ καλλούς λόγους ἔαν η μᾶζα ἥρεμίας τοῦ πρώτου εἶναι μικροτέρα τῆς τοῦ δευτέρου. Η διαφορά μάζης εἶναι μέτρον τῆς ἀσταθείας τοῦ δευτέρου συστήματος ἐν σχέσει πρός τό διπλόν.

Η μετρουμένη μᾶζα ένός πυρήνος εἶναι πάντοτε μικροτέρη τῆς μάζης ἥρεμίας τῶν νουκλεονίων ἀτινα συγιστοῦν τόν πυρήνα. Ἐπί παραδείγματι, θεωρήσωμεν τό διπλόν τοῦ ήλιου ${}^4\text{He}$. Τοῦτο συνίσταται ἐκ δύο πρωτονίων, δύο νετρονίων καὶ δύο ήλεκτρονίων καὶ η μᾶζα τούτου, εἰς τήν κλίμακα ${}^{12}\text{C}$, εἶναι $4,002604 \text{ a.m.u}$. Η μᾶζα τοῦ πρωτονίου + ήλεκτρονίου, ήτοι τοῦ ἀτόμου τοῦ υδρογόνου, εἶναι $1,0078252$, η δέ μᾶζα τοῦ νετρονίου $1,0086654$. Ήτοι έχομεν $2 \times 1,0078252 + 2 \times 1,0086654 = 4,032931 \text{ a.m.u}$.

'Η μᾶζα συνεπῶς τοῦ ἀτόμου τοῦ ${}^4\text{He}$ εἶναι μικροτέρα κατά $4,032931-4,002604 = 0,030377$ α.μ.α. ή $0,030377 \times 931,5 = 28,3$ MeV. 'Η ποσότης αὕτη παριστά τήν ἀπελευθερουμένην ἐνέργειαν κατά τήν σύνδεσιν τοῦ ἀτόμου ${}^4\text{He}$ ἐκ τῶν συστατικῶν τούτου. 'Η ἐνέργεια αὕτη καλεῖται ἐνέργεια συνδέσεως τοῦ ${}^4\text{He}$, καθ' ὅσον δεικνύει πόσον ἴσχυρῶς συνδέονται τὰ νουκλεόνια ἐντὸς τοῦ πυρήνος τούτου. Κατά τήν σύνδεσιν τοῦ ἀτόμου, δλόκληρος ή ἐνέργεια προέρχεται: ἐκ τοῦ πυρήνος καί ἐν κολύ μικρόν ποσοστόν ἀναφέρεται: *cis* τήν ἐνέργειαν συνδέσεως τῶν τροχιακῶν ἡλεκτρονίων. Διά τό ἀτόμου τοῦ δξυγόνου, ή ἐνέργεια αὕτη εἶναι περίπου 1 KeV.

'Η σύνδεσις τῶν πυρήνων ἀποτελεῖ ἔξωενεργειατήν ἀγτίδρασιν κατ' ἀναλογίαν πρός τάς ἐξωβλέψους ἀντιδράσεις.

'Η ἐνέργεια συνδέσεως παριστά ἐπίσης καί τήν ἐνέργειαν τήν διοίσιν πρέπει νά προσφέρωμεν διά τήν διάσπασιν τοῦ πυρήνος *eis* τὰ συστατικά αὐτοῦ. Διατρούντες τήν ἐνέργειαν συνδέσεως διά τοῦ δλικοῦ ἀριθμοῦ τῶν νουκλεονίων, *hītōi* διά τοῦ μαζικοῦ ἀριθμοῦ, λαμβάνομεν τήν ἐνέργειαν συνδέσεως κατά νουκλεόνιον. Οὕτω διά τοῦ ${}^4\text{He}$ έχομεν:

$$\Sigma = 28,3 \text{ MeV} \quad \text{καί} \quad \overline{\Sigma} = \frac{28,3}{4} = 7,1 \text{ MeV}$$

'Η σταθερότης, γεγιαῶς, ἐνός ἀτόμου καί κατά συνέπειαν ή ἐνέργεια συνδέσεως αύτοῦ δίδεται ύπό τῆς σχέσεως:

$$\Sigma = [ZM_H + NM_n - M] 931 \text{ MeV} \quad (1.4)$$

Ἐνθα: M_H = η μᾶζα τοῦ ἀτόμου τοῦ δρογόνου

M_n = η μᾶζα τοῦ νετρονίου

καί M = η μᾶζα τοῦ σχηματισθέντος ἀτόμου

Δεδομένου δτι $A=N+Z$, ή σχέσις (1.4) γράφεται:

$$E\Sigma = [ZM_n + (A-Z)M_n - M] 931 \text{ MeV} \quad (1.5)$$

$$\bar{E\Sigma} = \frac{(ZM_n + (A-Z)M_n - M)}{A} 931 \text{ MeV} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} &= \left(M_n - \frac{Z}{A} (M_n - M) - \frac{M}{A} \right) 931 \text{ MeV} \\ &= \left[1,008665 - \frac{Z}{A} 0,00084 - \frac{M}{A} \right] 931 \text{ MeV} \quad (1.7). \end{aligned}$$

Έναν χρησιμοποιηθή δ είσακθείς υπό τον Aston δρος, ηλάσμα συνδέσεως, f , δριζόμενος υπό της σχέσεως

$$f = \frac{M-A}{A}$$

Ένθα $M =$ ή μᾶζα τού ατόμου ησί $A =$ δ μαζικός άριθμός αντού, τότε ή σχέσις (1.7) δύναται νά γραφή

$$\bar{E\Sigma} = \left[0,008665 - 0,00084 \frac{Z}{A} - f \right] 931 \text{ MeV} \quad (1.8).$$

Εξ. δρισμού $f=0$ διά τόν ^{12}C . Διά τά ζλλα νουκλίδια δύναται τό f νά είναι θετικό ή άρνητικό. Τό ηλάσμα συνδέσεως άποτελεί έπισης μέτρον της μέσης ένεργείας μεθ' ής τά νουκλεόνια συνδέονται έντος τού πυρήνος. Μεγάλη τιμή τού f ύποδηλοί δτι τά νουκλεόνια συνδέονται χαλαρώτερον έντος τού πυρήνος. Ούτω διά τό ^4He έχομεν

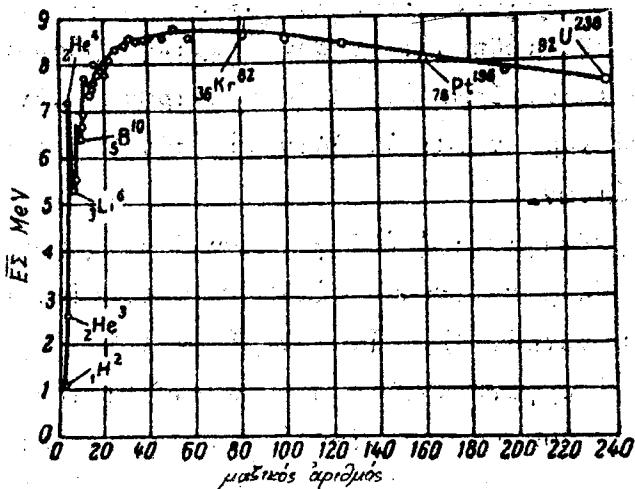
$$f = \frac{2,604 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,601 \cdot 10^{-3}$$

ένω διά τό D έχομεν:

$$f = \frac{14,102 \cdot 10^{-3}}{2} = 7,05 \cdot 10^{-3}$$

Η μέση ένέργεια συνδέσεως διά τό ^4He είναι, ώς εύρεθη προηγουμένως, $\bar{E\Sigma}=7,1 \text{ MeV}$, διά δέ τό D είναι $\bar{E\Sigma}=1,1 \text{ MeV}$. Ενταῦθα μεγάλη τιμή της μέσης ένεργείας συνδέσεως άντιστοιχεῖ είς ίσχυράν σύνδεσιν τῶν νουκλονίων έντος τού

πυρήνος καὶ μικρά τιμή αύτής εἰς χαλαράν σύνδεσιν τούτων, ώς συμβαίνει εἰς τό Δ. Θέτοντες εἰς διάγραμμα E_{Σ} =f(A) λαμβάνομεν μίαν ένδιαφέρουσαν παμπληγήν, Σχήμα(1-5)



Σχ. 1.5. Ένέργεια συνδέσεως πατά γουνλεόνιον συναρτήσει τοῦ μαζικοῦ ἀριθμοῦ.

Εἶτό διάγραμμα τοῦτο παρατηροῦμεν δτι ἡ μέση ἐνέργεια συνδέσεως αὐξάνει, ἀρχικῶς, ταχέως, φθάνει ἔν μέγιστον, 8,6 - 8,8 MeV, διά μέρου ἀτομικοῦ βάρους στοιχεῖα (A~60), καὶ πατόπιν ἐλαττοῦται, βραδέως εἰς τιμᾶς μέσης ἐνεργείας συνδέσεως περὶ τὰ 7,5 MeV. Εάν ἐξετάσωμεν τὴν ἀρχικήν μορφήν τῆς παμπληγής, τὴν ἀντιστοιχούσαν εἰς τὰ ἐλαφρά στοιχεῖα, παρατηροῦμεν δτι ἡ \bar{E}_{Σ} παρουσιάζει μέγιστα διά πυρήνας ἔχοντας μαζικόν ἀριθμόν διαιρούμενον διά 4 καὶ ἀτομικόν ἀριθμόν διαιρούμενον διά τοῦ 2. Δηλαδή παρατηροῦμεν δτι πυρήνες μέ A=4, 12, 16, 20 καὶ 24 παρουσιάζουν ἴδιαιτέραν σταθερότητα καὶ τοῦτο ἔδωσεν ἀφορμήν νά φεωρηθῇ δτι α-σωμάτια (${}^4\text{He}^{++}$) εὑρίσκονται ἐν τοῦ πυρήνος: Τοῦτο δμως δέν εἶναι δρθν. Η σταθε-

ρότης τούτων όφείλεται εἰς τὸν σχηματισμὸν κλειστῶν στιβάδων ἐν ἀναλογίᾳ πρᾶξ τάς κλειστάς στιβάδας τῶν τροχιακῶν ἡλεκτρονίων τῶν ἀδρανῶν ἀερίων.

Ἡ μικρὰ σχετικῶς μεταβολὴ τῆς μέσης ἐνέργειας συνδέσεως μετά τῆς μάζης, διά μέσου ἀτομικοῦ βάρους στοιχεία, ἀποτελεῖ ἐν ἴδιαιτέρως ἐνδιαφέρον πειραματικό γεγονός διότι δέον νά λαμβάνεται ὑπὸδριψίν εἰς τὴν θεωρίαν τῶν πυρηνικῶν δυνάμεων.

Ἐπί παραδείγματι ἡ ἐνέργεια συνδέσεως τοῦ νουκλιδίου $^{20}_{10}\text{Ne}$, διότι δέον συνίσταται ἐξ 20 νουκλεονίων (10 πρωτονία καὶ 10 νετρόνια), εἶναι περίπου 161 MeV, ἐνῶ ἀντιστοίχως ἡ ἐνέργεια συνδέσεως τοῦ νουκλιδίου $^{200}_{80}\text{Hg}$, διότι δέον συνίσταται ἐκ 200 νουκλεονίων (30 πρωτονία καὶ 120 νετρόνια) εἶναι 1580 MeV. Ἡ μέση ἐνέργεια συνδέσεως διά τό $^{20}_{10}\text{Ne}$ εἶναι 8,05 MeV, διά δέ τῶν $^{200}_{80}\text{Hg}$ εἶναι 7,95 MeV.

Ἀνάλογον περίπτωσιν ἔχομεν εἰς τάς τιμάς Δερμδητος σχηματισμοῦ τοῦ C_6H_{12} (ἀλειφατικοῦ ὕδρογονάνθρακος) καὶ τοῦ $\text{C}_{32}\text{H}_{66}$ αἴτινες εἶναι ἀντιστοίχως 1707 Kcal/mole καὶ 9260 Kcal/mole. Συνεπῶς κατ' ἀτομον ἔχομεν $\frac{1707}{18} = 95$ καὶ $\frac{9260}{98} = 94,5$. Δηλαδή εἶναι περίπου αἱ αὐταί. Τοῦτο ἀναμένεται καθ' ὅσον ἔκαστον ἀτομον C συνδέεται μετ' ἄλλων 2 γειτονικῶν ἀτόμων C καὶ δύο ἀτόμων H.

Ἡ σταθερότης δηλαδή αὕτη τῆς κατά νουκλεόνιον ἐνέργειας συνδέσεως εἰς σχετικῶς εὔρυ διάστημα μαζῶν ἀποτελεῖ ἐνδειξιν τοῦ κορεσμοῦ τῶν πυρηνικῶν δυνάμεων. Λί πυρηνικοὶ δυνάμεις εἶναι μικρᾶς ἐμβελείας, ἥτοι δροσν μόνον μετεξέν τῶν γειτονικῶν νουκλεονίων καὶ δέν ἐπηρεάζονται ἐκ τῆς προσθήκης ἑτέρου νουκλεονίου.

Είς πρώτην προσέγγισιν δυνάμεθα νά γράψωμεν:

$$\overline{E\Sigma} = \frac{E\Sigma}{A} \approx \text{Constant} \quad (1.9)$$

και συγεπῶς ή δλική ένέργεια συνδέσεως εἶναι περίπου άναλογος τού μαζικού ἀριθμού, δηλαδή τού δλικού ἀριθμού τῶν νουκλεονίων έντός τού πυρήνος, ήτοι

$$E\Sigma \sim A \quad (1.10)$$

Έάν αἱ πυρηνικαὶ δυνάμεις, μεταξύ τῶν νουκλεονίων τού πυρήνος, ἐπεξετείνοντο καὶ πέραν τῶν γειτονιῶν νουκλεονίων, τότε ή ένέργεια συνδέσεως θά ἔπειτε νά ήτο άναλογος τού ἀριθμού τῶν ζευγῶν τῶν νουκλεονίων, τά διποῖα δύνανται: νά σχηματισθούν ἐξ Λ νουκλεονίων, ήτοι θά ἔπειτε νά ήτο:

$$E\Sigma \sim \frac{\Lambda(\Lambda-1)}{2} \approx \frac{\Lambda^2}{2} \sim A^2, \text{ δι' } \Lambda \gg 1 \quad (1.11)$$

καὶ $\overline{E\Sigma} \sim \Lambda \quad (1.12)$

Άλλ' ή εύρεθείσα πειράματικῶς: σχέσις εἶναι $E\Sigma \sim A$
ήτοι ἐκαστον νουκλεόνιον ἀντιδρᾷ μεθ' ὥρισμένον ἀριθμού γειτονικῶν νουκλεονίων.

Ἐφ' δσον, ως ἀνεφέρθη προηγουμένως, μεγάλη τιμῆ ένεργείας συνδέσεως ἀντιστοιχεῖ εἰς λίαν σταθερούς πυρήνας, ἔπειται δτ: τά σταθερώτερα νουκλίδια εἶναι ἑκεῖνα ἀτιγα ἀντιστοιχούν εἰς τό μέγιστον τῆς καμπύλης ένεργείας συνδέσεως, δηλαδή τά νουκλίδια Fe, καὶ Ni.
Ταῦτα εἶναι τά πλέον σταθερά ἐξ δλων τῶν νουκλίδων καὶ ως ἐκ τούτου δέν θεωρεῖται: περίεργον τό γεγονός δτι ταῦτα εἶναι τά συχνότερον ἀπαντώμενα στοιχεῖα εἰς τούς μετεωρίτας καὶ τήν γῆν.

Βάσει τῶν ἀνωτέρω θά ἔπειτε τά ἐλαφρά ὡς παί τά βαρέα νουκλίδια νά εἶναι ἀσταθή καί διά συντήξεως τῶν ἐλαφρῶν καί σχάσεως τῶν βαρέων νουκλίδιων νά μεταβούν εἰς τά μεσαῖα, ἀπό πλευρᾶς μαζικοῦ ἀριθμοῦ, νουκλίδια, καθ' ὅσον διά τῶν τοιούτων διεργασιῶν θά ἐκερδίζομεν ἐνέργειαν. Ἀλλά ἀντιδράσεις αὗτινες εἶναι ἐνεργειακῶς δυναταί δέν εἶναι κατ' ἀνάγκην καί αὐθόρμητοι. Τοῦτο σημαίνει δτι αὕτας λαμβάνουν χώραν λίαν βραδέως ὥστε νά μή δύνανται νά παρατηρηθούν λόγω τῆς ἀπαιτουμένης μεγάλης ἐνέργειας ἐνεργοποιήσεως. Π.χ. μῆγμα ἀερίου δρογόνου καί δρογόνου πυραμένει, εἰς τήν θερμοκρασίαν τοῦ δωματίου, ἀμετάβολον ἐπί λίαν μακρόν χρόνον μολονότι τὸ σύστημα τοῦτο δέν εἶναι θερμοδυναμικῆς στάθερόν ἐν σχέσει πρᾶς τῶν σχηματισμῶν θδατος.

Οὐ πρέπη νά υπερβῶμεν τό φράγμα δυναμικοῦ, διά προσφορᾶς ἐνέργειας, ίνα λάβῃ χώραν ἡ ἀντιδρασίς.

Ἐάν δέν υπῆρχε τό φράγμα δυναμικοῦ, τότε δλόκηρος ἡ γῆ θά ἔπειτε γ' ἀποτελῆται μόνον ἀπό Φεγκάι Ni, ἄτινα εἶναι τά πλέον σταθερά νουκλίδια. Ἡ σύντηξις ἐλαφρῶν πυρήνων, ὡς πηγῆς ἐνέργειας, ἀποτελεῖ τήν ἀρχήν ἐπί τῆς δροίας βασίζεται ἡ βρόβα δρογόνου. Ἡ σχάσις τῶν πυρήνων, ἀντιθέτως, ὡς πηγῆς ἐνέργειας, ἀποτελεῖ τήν ἀρχήν ἐπί τῆς δροίας βασίζεται ἡ ἀτομική βρόβα.

Ἡ πηγή ἐνέργειας τοῦ ἥλιου καί τῶν ἀλλων ἀστέρων δέν προέρχεται ἐκ τῆς σχάσεως βαρέων νουκλίδιων, καθ' ὅσον ἡ περιεκτικότης εἰς βαρέα νουκλίδια εἶναι ἐλαχιστη, ἀλλά ἐκ συντήξεως πρωτονίων (δρογόνου) πρός πυρήνας ἥλιου. Τοῦτο ἀναπτύσσεται εἰς ἴδιατερον πεφύλακιον. Διά τήν παταγόησιν τῆς ἐνέργειας συνδέσεως δέον δπως θεωρήσωμεν

ταύτην ὡς τήν μᾶζαν ήτις ἐλλείπει ἀπό τὸν πυρῆνα. Ἐπὶ παραδείγματι, κατέ τόν σχηματισμὸν τοῦ πυρῆνος ἥλίου (α-σωματίου) ἐκ δύο πρωτονίων καὶ δύο νετρονίων, ἐπελευθεροῦται, ὡς ἀνερέθη προηγούμενως, ἐνέργεια 23,3 ΜεV, ὅφειλομένη εἰς ἀπώλειαν μάζης. Τὰ γουκλεόνια θά υπάρχουν εἰς τὴν πυρῆνα μέχρις δτου προσδώσωμεν τὴν ἀπαραίτητον ἐνέργειαν ἵνα δυνηθοῦν νά υπάρξουν ὡς ἐλεύθερα γουκλεόνια. Ἡ ἐνέργεια συνδέσεως, ήτις εἶναι θετική ποσότης δτων ἀναφερόμεθα ὡς τὸν πυρῆνα ἐν τῷ συγδῶ, εἶναι εἰς τὴν πρωγματικότητα ή ἐνέργεια ή ἴσοδύναμος τῆς μάζης ήτις ἐλλείπει.

Βάσει τοῦ διαγράμματος τῆς μέσης ἐνέργειας συνδέσεως, δυνάμεθα νά ἔξηγήσωμεν διατί τὰ γυστικῶς υπάρχοντα α-νόνυκλίδια εὑρίσκονται πυρίως μεταξύ τῶν βαρέων στοιχείων. Θεωρητικῶς θά ἡδύνατο κάθε πυρῆν νά ἐκπέμψῃ ἐν α-σωμάτιον, ἑάν διά τὴν ἀπομάκρυνσιν ἐκ τοῦ πυρῆνος 2 πρωτονίων καὶ δύο νετρονίων ἀπαιτήσει νά καταβληθῇ μικροτέρα ἐνέργεια ἀπό τὴν ἐλευθερούμενην ::ατά τὸν σχηματισμὸν ἐνδός α-σωματίου ἐκ τῶν δύο τούτων πρωτονίων οὐαί νετρονίων. Πρός τοῦτο πρέπει νά κάνωμεν διάκρισιν μεταξύ τῆς μέσης ἐνέργειας συνδέσεως, κατά γουκλεόνιδον, καὶ τῆς ἐνέργειας συνδέσεως τοῦ τελευταίου προστεθέντος γουκλεονίου. Ταύτην δυνάμεθα νά φεωρήσωμεν ὡς ἐν εἴδος μερικῆς γραμμομοριακῆς ἐνέργειας. συνδέσεως κατ' ἀναλογίαν πρός τὴν χρησιμοκοιουμένην εἰς τὴν θερμοδυναμικήν, ἐννοιαν τῶν μερικῶν γραμμομοριακῶν μεγεθῶν.

Ἐπ τοῦ διαγράμματος προκύπτει δτι η δλική ἐνέργεια συνδέσεως ἐνδός γουκλιδίου μέ μαζικόν ἀριθμὸν 200 εἶναι: $7,8 \times 200 = 1560$ ΜεV. Ἡ ἐνέργεια συνδέσεως ή ἀντιστοι-

χούσα είς τόν μαζικόν ὑριθμόν 240 εἶναι, βάσει τοῦ διαγράμματος, $7,4 \times 240 = 1776$ MeV. Συνεπῶς ή προσδήκη 40 νουκλεονίων προκαλεῖ αδέησιν τῆς ἐνέργειας συνδέσεως κατά $1776 - 1560 = 216$ MeV. "Ητοι, ή μέση ἐνέργεια συνδέσεως κατά νουκλεόνιον, τούτων εἶναι $216 : 40 = 5,4$ MeV." Άρα διά τῆν ἀπελευθέρωσιν ἐνδεικούμενον τούτων της πρόσθιας 5,4 MeV καὶ διά 4 κεχωρισμένων νουκλεόνια ($2p$ καὶ $2n$) ἀπαιτεῖται ἐνέργεια $4 \times 5,4 = 21,6$ MeV. Τό α-σωμάτιον ἔχει ἐνέργειαν συνδέσεως 23,3 MeV, ήτοι ἐπί πλέον ἐνέργειαν $23,3 - 21,6 = 1,7$ MeV. Άρα ή ἀπελευθέρωσις ἐνδεικούμενον τούτων της πρόσθιας 1,7 MeV, ἐνῶ ή ἀπελευθέρωσις ἐνδεικούμενον της πρόσθιας α-σωμάτιον συνοδεύεται ἀπό ἐπί πλέον ἐνέργειαν περίπου 6 MeV ήτις ἐμφανίζεται ὡς πινητική ἐνέργεια τοῦ α-σωμάτιον. Τούτο ἔξηγεται καὶ διατί δέν ἐκπέμπεται ὑπό τοῦ πυρήνος ἐν μόνον νουκλεόνιον ἀλλὰ α-σωμάτια συνιστάμενα ἐκ 4 σωμάτων. Τά ἀνατέρω, προκύφαντα, ἐκ τῆς καμπύλης τῆς ἐνέργειας συνδέσεως, συμφωνοῦν καὶ μέ τάς σχέσεις μαζών. Επί παραδείγματι η ἐνέργεια συνδέσεως ἐνδεικούμενον της α-σωμάτιον (μάζης 4,00260 α.τ.α.) εἰς τόν πυρήνα ^{235}U (μάζης 235,04393), εὑρίσκεται ἐκ τῶν μαζῶν τούτων καὶ τῆς μάζης τοῦ T_{α} (μάζης 231,03635).

$$\begin{aligned} E_{\Sigma} &= [M_{T_{\alpha}} + M_{\alpha} - M_u] 931 \text{ MeV} = [231,03635 + 4,00260 - 235,04393] 931 \\ &= [-0,00498] 931 \text{ MeV} \\ &= -4,64 \text{ MeV} \end{aligned} \quad (1.13)$$

"Η ἀρνητική τιμή τῆς ἐνέργειας συνδέσεως υποδηλοῦ δτι δ πυρήν ^{235}U εἶναι: θερμοδυναμικῶς ἀσταθῆς ἐν σχέσει πρός τό σύστημα $T_{\alpha} + \alpha$ -σωμάτια.

Συνεπῶς, τό ^{235}U διασπάται πρός $T_{\alpha} + \alpha$ -σωμάτια, κινητικής ἐνέργειας 4,64 MeV.

Γενικώς ή ένέργεια συνδέσεως τῶν α-σωμάτων εἰς δλους τούς πυρήνας μέ. $\Lambda > 140$ είναι άρνητη.

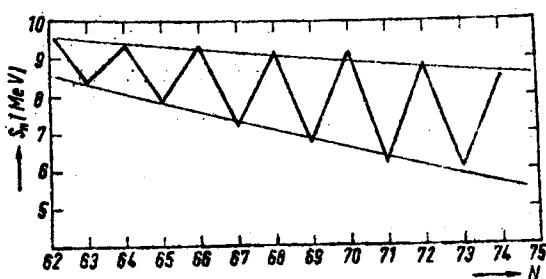
Μέ καλυτέρων τεχνικήν είναι πιθανόν δτ: θά εύρεθον καί πυρήνες μέσου άτομικού βάρους ως α-έκπομποι.

Κατά χαρακτηριστικόν τρόπον μεταβάλλεται ή ένέργεια συνδέσεως ένός έπι πλέον νουκλεονίου ($\varphi \text{ ή } n$) άπό ένα πυρήνα είς τὸν άμεσως έπόμενον. Η ένέργεια συνδέσεως τοῦ τελευταίου νουκλεονίου δύναται: νά γραφῆ:

$$E\Sigma_p = \left[\frac{\Lambda-1}{z-1} M + M_n - \frac{\Lambda}{z} M \right] c^2 \quad (1.14)$$

$$E\Sigma_n = \left[\frac{\Lambda-1}{z} M + M_n - \frac{\Lambda}{z} M \right] c^2 \quad (1.15)$$

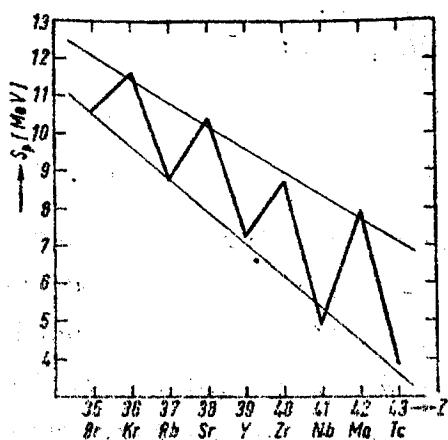
Εύρεθη δτι, κατά τήν μετάβασιν άπό ένα α-π ή π-α πυρήνα (Άρτιος-περιττός, περιττός-Άρτιος) είς ένα α-α πυρήνα (Άρτιος-Άρτιος), ή ένέργεια συνδέσεως τοῦ τελευταίου νουκλεονίου είναι σχετικῶς μεγάλη καί κατά τήν μετάβασιν άπό ένα α-α πυρήνα είς ένα α-π ή π-α πυρήνα, σχετικῶς μικρά. Τούτο καταφαίνεται είς τό σήμα (1.6). Πα-



Σχ. 1.6. Ένέργεια συνδέσεως τοῦ τελευταίου νετρονίου διά $Z=50$ καί $\Lambda=112-124$

ρατηρούμεν δτι ή ένέργεια συνδέσεως τοῦ τελευταίου νετρονίου είναι μεγαλυτέρα είς τούς α-α πυρήνας S_n , η

είς τούς γειτονικούς α-π πυρήνας του Sn ($Z=50$). Συνεπώς διά την άπομάκρυνσιν ένδεις νετρονίου από α-α πυρήνα του Sn άπαιτείται μεγαλυτέρα ένέργεια ή διά την άπομάκρυνσιν ένδεις νετρονίου από ένα α-π πυρήνα του Sn. Το ίδιον ισχύει καί διά την άπομάκρυνσιν ένδεις πρωτονίου ένα πυρήνων μέχριθμόν νετρονίων 50 (Σχ. 1.7) ($\frac{85}{35} B_r$ έως $\frac{93}{43} T_c$).



Σχ. 1.7. Ένέργεια συνδέσεως του τελευταίου πρωτονίου διά τά νουκλίδια B_r - T_c μέ $N=50$.

Ισχύει δηλαδή, γενικώς, διά απαιτείται μικροτέρα ένέργεια διά την άποσπασιν ένδεις πρωτονίου ή νετρονίου από πυρήνας μέ περιττόν άριθμόν πρωτονίων ή νετρονίων ή από πυρήνας μέ άριθμόν πρωτονίων ή νετρονίων.

Τούτο έξηγείται βάσει του γεγονότος διά κατά την σύζευξιν δύο δμοίων νουκλεονίων ταυτά λαμβάνουν τήν κατάστασιν τής έλαχίστης

ένεργείας. Δηλαδή είς τούς α-α πυρήνας δλα τά νουκλεόνια άμφοτέρων τῶν τύπων συζεύγνυνται. Είς πυρήνας τύπου α-π καί π-α έν νουκλεόνιον είγαι μονήρεις. Ή μεγάλη άστάθεια τῶν πυρήνων τύπου π-π ύποδηλοί διά σύζευξις μεταξύ πρωτονίου καί νετρονίου δέν λαμβάνει χώραν.

1-10. Μάζα καί σταθερότης.

Είς τό προηγούμενον κεφάλαιον άγεφέρθη διά τό ^{235}U δέν είναι θερμοδυναμικώς σταθερόν έν σχέσει πρός τό σύ-

στημα²³¹ Τh+α-σωμάτια. 'Η μάζα τοῦ συστήματος²³¹ Τh+α-σωμάτια είναι: μικροτέρα τοῦ²³³ U. Θεωρήσωμεν ἡδη τὸ νου - πλίδιον²² Na, μάζης 21,994435. 'Η μάζα τοῦ συστήματος¹⁸F +⁴He είναι 22,0035535 ἢτοι μεγαλυτέρα κατέ 0,009118 αμοῇ 8,49 MeV. Συνεπῶς αὐθόρυμητος α-διάσπασις τοῦ²² Na δέν εῖναι δυνατή.

Θά πρέπη νά τονισθῇ δτι ἔάν μία ἀντίδρασις είναι: ἐνεργείακως δυνατή, δέν δυνάμεθα νά συμπεράνωμεν δτι θά λάβῃ χώραν μέ μετρουμένην ταχύτητα. 'Εάν δημας είναι: ἐνεργείακως ἀδύνατος, τότε είναι βέβαιον δτι ἡ ἀντίδρασις αὕτη δέν δύναται: νά λάβῃ χώραν αὐθορυμήτως.

Γενικῶς, ἔάν μία ἀντίδρασις είναι: ἐξωενεργείακη, τοῦτο ἡ δλική μάζα δλων τῶν προϊόντων είναι: μικροτέρα τῆς δλικῆς ἀρχικῆς μάζης.

'Υπάρχουν τρεῖς περιπτώσεις αὶ δποῖαι δδήγονν εἰς τήν μή σταθερότητα τοῦ πυρήνης.

α) Μεγάλος ἀριθμός πρωτονίων καί νετρονίων, ἢτοι μεγάλη μάζα.

Είς τήν περίπτωσιν ταύτην υπάρχει: ἡ τάσις νά ἐκπέμφῃ δ πυρήν ἐν α-σωμάτιον συμφώνως πρός τά προηγουμένως ἀναφερθέντα. Είναι δυνατόν νά υποστῇ ἐπίσης σχάσιν. Τούτο ἀναφέρεται εἰς ἴδιον κεφάλαιον.

β) Μεγάλος ἀριθμός νετρονίων διὰ δεδομένον ἀριθμόν πρωτονίων.

Είς τήν περίπτωσιν ταύτην ἐν νετρόνιον μετατρέπεται εἰς ἐν πρωτόνιον, ἐν β-σωμάτιον καί ἐν ἀντινετρίνον ἢτοι:



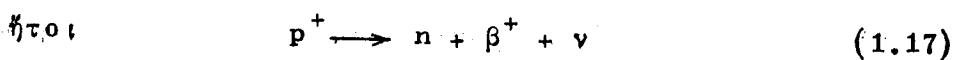
Είς τό ἑρώτημα διατί δέν ἐκπέμπεται: ἐν νετρόνιον, ἢ ἀπάντησις δίδεται: ἀπό τάς σχέσεις μάζης. Οὕτω τό²⁴ Na,

(μάζης 23,9909669 α.μ.α) διασπάται δι' έκπομπής β⁻-σωματίου πρός ²⁴Μg, (μάζης 23,9850446). Η μάζα λοιπόν του προϊόντος είναι μικροτέρα τής άρχιτης μάζης και κατά συγέπειαν, ή β-διασπασίς είναι δυνατή.

Διά της έκπομπής β-σωματίου δχι μόνον έλαττούται, διάριθμός τῶν νετρονίων ἀλλ' αὐξάνει συγχρόνως και διάριθμός πρωτονίων. Το δυγατρικόν νουκλίδιον ἔχει ἀτομικόν ἀριθμόν μεγαλύτερον κατά μονάδα ἀλλά τὸν αὐτὸν μαζικόν ἀριθμόν, Λεπτομέρειαί ἀναφέρονται εἰς ίδιον κεφάλαιον.

γ) Μεγάλος ἀριθμός πρωτονίων διά δεδομένον ἀριθμόν νετρονίων.

Η έκπομπή πρωτονίων δέν λαμβάνει χώραν διά τὸν ίδιον, ὡς προηγουμένως, λόγον. Εντασθα ύπαρχουν δύο μηχανισμοί 1) μετατροπή ἐνδος πρωτονίου εἰς ἐν νετρονίον, ποζιτρονίον και νετρίνον.



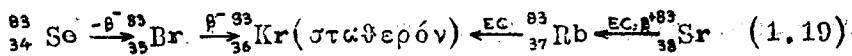
καὶ 2) σύλληψη, συνήθως ἐκ τῆς K-τροχιας, (Ε C), ἐνός τροχιακού ήλεκτρονίου κατά τὸ σχήμα



Αμφότεροι οἱ μηχανισμοί διασπάσεως ὁδηγοῦν εἰς τὸν αὐτὸν δυγατρικόν πυρῆνα· μέντοι διαφέρει τὸν μηχανισμόν μετατροπής περί β-διασπάσεως ἀναφέρονται λεπτομερῶς οἱ δύο μηχανισμοί.

Εἰς τὸν χάρτην τῶν νουκλίδων δλα τῷ β⁻-νουκλίδια κείνται δεξιά τῆς γραμμῆς σταθερότητος και δλα τῷ β⁺-νουκλίδια ὡς και τὰ διασπώμενα διά συλληφεως ήλεκτρονί-

ων κείνται άριστερά τῆς γραμμῆς ταύτης. "Ινα λοιπόν εἰς πυρήν κείται επί τῆς γραμμῆς σταθερότητος, πρέπει νά έχῃ ώρισμένον άριθμόν νετρονίων. 'Εάν έχῃ πολλά σχετικῶς γετρόνια, ύφίσταται β-διάσπασιν καθ' ἓν γετρόνιον μεταπίντει εἰς πρωτόνιον. 'Εάν δὲ άρχικός πυρήν έχῃ Z πρωτόνια καί μαζικόν άριθμόν A, δὲ λόγος νετρονίων πρός πρωτόνια εἶναι A-Z/Z καί μετά τήν έκπομπήν του β-σωματίου καθίσταται A-Z-1/Z+1. 'Ο λόγος οὗτος εἶναι μικρότερος του πρώτου δι' οἰανδήποτε τιμήν τῶν A καί Z. 'Εάν δὲ πυρήν έχῃ περίσσειαν πρωτονίων, έκπεμπει ποκτιτρόνιον (β^+ -σωμάτιον) ή ύφίσταται σύλληψιν ήλεκτρονίου. Εἰς τάς διεργασίας ταύτας δὲ άρχικός λόγος νετρονίων πρός πρωτόνια A-Z/Z καθίσταται A-Z+1/Z-1, διτοις εἶναι μεγαλύτερος του πρώτου δι' οἰανδήποτε τιμήν τῶν A καί Z. 'Εφ' δον τὰ νουκλίδια, τὰ δποῖα κείνται επί τῆς γραμμῆς σταθερότητος, εἶναι τὰ πλέον σταθερά, πρέπει νά εἶναι τὰ έλαφρότερα ίσοβαρή. 'Ως ἀνεφέρθη ἐν τοῖς προηγουμένοις, νουκλίδια μέ τόν αὐτόν μαζικόν άριθμόν δέν σημαίνει δτι έχουν τήν αὐτήν μᾶζαν. Θεωρήσωμεν τήν σειράν τῶν ισοβαρῶν $^{83}_{34}$ Se, $^{83}_{35}$ Br, $^{83}_{36}$ Kr, $^{83}_{37}$ Rb, καί $^{83}_{38}$ Sr. Εἰς τήν σειράν ταύτην έχομεν τήν έξῆς σειράν διασπάσεων:



'Εφ' δον τό $^{83}_{34}$ Se διασπάται πρός $^{83}_{35}$ Br καί τό $^{83}_{35}$ Br διασπάται πρός τό σταθερόν $^{83}_{36}$ Kr, ἔπειται δτι, συμφώνως πρός τά προαναφερθέντα, ή μᾶζα τούτων θά άκολουθή τήν σειράν $^{83}_{34}$ Se > $^{83}_{35}$ Br > $^{83}_{36}$ Kr. Εἰς τήν ξλλην πλευράν ή μᾶζα τῶν $^{83}_{36}$ Sr, $^{83}_{37}$ Rb καί $^{83}_{38}$ Kr θά άκολουθή τήν έξῆς σειράν: $^{83}_{36}$ Sr > $^{83}_{37}$ Rb > $^{83}_{38}$ Kr. Οὕτω τό $^{83}_{36}$ Kr εἶναι τό έλαφρότερον ίσοβαρές τής σειρᾶς μαζικού άριθμού 83.

Ἐν συμπεράσματι, ἡ δλική ἐνέργεια συνδέσεως καὶ συνεπῶς καὶ ἡ σταθερότης ἑνὸς πυρῆνος ἔξαρτᾶται κυρίως ἐκ τοῦ λόγου τοῦ ἀριθμοῦ νετρονίων πρός τὸν ἀριθμόν τῶν πρωτονίων ἀλλ' εἰς μικρόν βαθμόν καὶ ἐκ τοῦ ἔδυ οἱ ἀριθμοί οὗτοι εἶναι ἄρτιοι ἢ περιττοί. Ὡς ἀνεφέρθη εἰς προηγούμενον κεφάλαιον οἱ σταθερότεροι πυρῆνες εἶναι τύπου α-α, εἰς τοὺς δποῖους δλα τὰ νουκλεόνια εὑρίσκονται ἐν συζεύξει.

Πέραν τούτου διεπιστώθη δτι δταν δ ἀριθμός τῶν πρωτονίων ἑνὸς πυρῆνος εἶναι: 2, 8, 20, 28, 50, 82 ή δ ἀριθμός νετρονίων τούτου εἶναι: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, τότε δ πυρήν οὗτος εἶναι ίδιαιτέρως σταθερός. Οἱ ἀριθμοί οὗτοι χαρακτηρίζονται ὡς μαγικοί ἀριθμοί.

1.11. Ἐξίσωσις ἐνεργείας συνδέσεως κατά Weizsäcker.

Εἰς τὸ προηγούμενον κεφάλαιον ἀνεφέρθη δτι, κατά τὴν β^+ -διάσπασιν ὡς καὶ τὴν σύλληψιν ἡλεκτρονίου, δ προκήπτων θυγατρικός πυρῆν ἔχει τὸν αὐτὸν μαζικὸν ἀριθμόν, ήτοι, εἶναι ίσοβαρής πυρῆν. Διὰ τὸν ύπολογισμὸν τῆς ἐνεργείας συνδέσεως ἔχρησιμοποιήθη ὡς ύποδειγμα πυρῆνος τὸ πρότυπον τῆς ύγρᾶς σταγόνος κατά τὸ δποῖον δ πυρῆν θεωρεῖται: ὡς μία σταγών ἀσυμπιέστου ύγροθ, αἱ δέ γνωσταί ίδιότητες τούτου χρησιμοποιοῦνται: διὰ τὸν ύπολογισμὸν τῆς ἐνεργείας συγδέσεως τοῦ πυρῆνος, τὴν ἐρμηνείαν τοῦ φαινομένου τῆς σχέσεως τοῦ πυρῆνος καὶ λοιπῶν προβλημάτων. Ἐάν ήτο δυγατόν νά κατανοήσωμεν δλας τάς δράσεις τῶν νουκλεονίων ἐντός τοῦ πυρῆνος, τότε θά ήτο δυνατόν νά ἔξηγήσωμεν καὶ νά προΐδωμεν τάς ίδιότητας τοῦ πυρῆνος ὑναφερόμενοι εἰς πραγμάτικην πυρῆνα. Τοῦτο δμως

δέν κατέστη δυνατόν μέχρι σήμερον νά έπιτευχθῇ καί ὡς
ἐκ τούτου καθίσταται ἀναγκαία ἡ χρησιμοποίησις ὀρισμέ-
νων ὑποδειγμάτων πυρήνων, αἱ ἴδιοτητες τῶν διοίων δο-
νανται· νά συγκριθοῦν μέ τά πειραματικά δεδομένα τῶν
πραγμάτων πυρήνων. 'Η υπαρξίς περισσοτέρων προτύπων
καθίσταται ἀναγκαία λόγω τοῦ περιορισμοῦ τούτων εἰς ὁ-
ρισμένην μέγον συμπεριφοράν τοῦ πυρῆνος. Εἶναι ὡς ἐδν
νά παρατηρῶμεν ἐν δωμάτιον ἀπό διάφορα μικρά παράθυρα
τούτου, τά διοῖα ἐπιτρέπουν νά "ιδωμεν μέγον τμῆμα τοῦ
δωματίου.

Συνεπῶς η ἀπάντησις εἰς τό δέρωτημα διατί χρησιμο-
ποιούμεν ὑποδείγματα πυρήνων εἶναι εὔκολος. Διέτι τό
πρόβλημα εἶναι δύσκολον. 'Επιλέγομεν λοιπόν ἐν πρότυ-
πον, ἐν ὑπόδειγμα, καί τάς ἴδιοτητας τοῦ συστήματος τού-
του ἐπιχειρούμεν ν' ἀποδώσωμεν καί εἰς τόν πυρῆνα ὥστε
νά ἔξηγήσωμεν ὡρισμένας ἴδιοτητας τούτου. Οὕτω, διέ τήν
εὑρεσιν μιᾶς ἔξισεως ήτις νά ἐπιτρέπῃ τόν ὑπολογισμόν
τῆς ἐνεργείας συνδέσεως τοῦ πυρῆνος, ὁ Weizsäcker ἐθεω-
ρησεν τόν πυρῆνα ὡς μίαν σταγόνα ἀσυμπιέστου ὑγρού. 'Η
συσχέτισις τοῦ πυρῆνος πρός τήν σταγόνα ὑγρού προκύπτει
ἐκ τῶν κάτων; δεδομένων: 'Εκάστη σταγών ἔχει τήν αὐτήν
πυκνότητα ἀνεξαρτήτως τοῦ δγκου αὐτῆς. 'Ως προκύπτει
ἐκ τῆς μελέτης τῆς ἀκτίνος τοῦ πυρῆνος καί οἱ πυρῆνες
ἔχουν τήν αὐτήν περίπου πυκνότητα ἀνεξαρτήτως τοῦ δγ-
κου τούτων. Αἱ δρῶσαι δυνάμεις, εἰς τήν σταγόνα ὑγρού,
εἶναι δυνάμεις Van der Waals, ήτοι μικρᾶς ἐμβελείας.
'Η ἐνέργεια συνδέσεως κατά νουκλεόνιον εἶναι περίπου
σταθερά καί ὡς ἐκ τούτου αἱ πυρηνικά δυνάμεις εἶναι
μικρᾶς ἐμβελείας ἐμφανίζουσαι πορεσμόν. Τά μέρια τῆς
σταγόνος τοῦ ὑγρού τά εύρισκομενα ἐπί τῆς ἐπιφανείας

τῆς σταγόνος έλκονται μονοπλεύρως ἐμφανιζομένης τῆς ἐπιφανειακῆς τάσεως ἐκφραζομένης διὰ τῆς ἐπιφανειακῆς ἐνεργείας. Κατ' ἀναλογίαν πρός τὴν σταγόνα ύγρον τὰ νουκλεόνια τὰ εύρισκομενα ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ πυρήνος δέν συνδέονται τόσον ίσχυρῶς ὡς τὰ ἑσωτερικά νουκλεόνια καὶ ὡς ἐπὶ τούτου εἶναι λογικόν νὰ φαντασθῶμεν δτι καὶ δ πυρήν έμφανίζει ἐπιφανειακήν τάσιν. "Οταν δ πυρήν δέν εἶναι διηγερμένος θεωρεῖται ὡς έχον σφαίρικόν περίπου σχήμα, ὡς ή σταγών ύγρον, ἀλλ' ὅταν διεγερθῇ, ἐμφανίζονται ταλαιπωσεις αἱ δποῖαι καταλήγουν εἰς αβέσησιν τῆς ἐπιφανείας αὐτοῦ. "Οταν αὕτη γίνη σημαντική τότε, κατ' ἀναλογίαν πρός τῆν σταγόνα ύγρον, δ πυρήν ύφίσταται σχάσιν.

Πάντα ταῦτα δικαιολογοῦν τὴν προσομοίωσιν ταῦ πυρήνος πρός σταγόνα ύγρον.

Ο υπολογισμὸς τῆς ἐνεργείας συνδέσεως τοῦ πυρήνος γίνεται διὰ τῆς κατωτέρω ἡμιεμπειρικῆς σχέσεως τοῦ Weizsäcker, ύπό τὴν έννοιαν δτι αἱ σταθεραὶ αὐτῆς πρέπει νὰ υπολογισθοῦν. Π πρδεσις "ήμι" ύποδηλοῦ δτι η μορφὴ τῆς έξισώσεως εἶναι θεωρητικῶς εύλογοφανής. Η Ἐνέργεια συνδέσεως ἀποτελεῖται ἐν τῷ έξης δρων.

$$E_{\Sigma} = E_v - E_o - E_c - E_a \pm E_{\delta} \quad (1.20)$$

Ἐνθά E_v = η ἐνέργεια δγκου

E_o = η ἐπιφανειακή ἐνέργεια

E_c = η ἐνέργεια Coulomb

E_a = η ἐνέργεια ἀσυμμετρίας

καὶ E_{δ} = η ἐνέργεια συζεύξεως

1) Ο πρῶτος καὶ σπουδαιότερος δρος εἶναι θμεσος συνέπεια τῆς μικρᾶς ἐμβελείας τῶν πυρηνικῶν δυνάμεων καὶ

τού πορεσμού αντίτιπη. 'Ο πορεσμός οὗτος είναι συνήθως πλήρης δταν ἀντιδρούν 4 νουκλεονία (2p και 2n), ως πάταφαίνεται ἀπό τήν μεγάλην σχετικῶν ἐνέργειαν σύνδεσεως τῶν ${}^2_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{16}_8\text{O}$. 'Εφ' δον αἱ δυνάμεις μεταξύ τῶν νουκλεονίων τού πυρήνος είναι ἀνεξάρτητοι τού φορτίου, ήτοι αἱ δυνάμεις μεταξύ p-p, n-n, n-p είναι περίπου ίσαι καὶ δροῦν μόνον μεταξύ τῶν γε τονικῶν νουκλεονίων, ἐπεταί δτι ἡ ἐνέργεια συνδέσεως τού πυρήνος είναι ἀνάλογος τού ἀριθμού τῶν νουκλεονίων τού πυρήνος, ήτοι τού μαζικού ἀριθμού $N+Z=A$. 'Ο πρώτος ἐπομένως δρός ἐκφράζει τὸ γεγονός δτι

$$E_v = \alpha_v A \quad (1.21)$$

Ἐνδιαδικτύως δ συντελεστής $\alpha_v = 14,1 \text{ MeV}$.

2) Τά νουκλεονία τά δποτα εύρισκονται ἐπί τῆς ἐπιφανείας τού πυρήνος δέν περιβάλλονται ὑπό τού μεγίστου ἀριθμού νουκλεονίων καὶ ως ἐκ τούτου είναι ὀλιγώτερον σταθερᾶς συνδεόμενα τῶν ἐσωτερικῶν νουκλεονίων. Συνεπῶς ἡ υπολογισθεῖσα διά τού προηγουμένου δρου ΕΣ είναι λίγη μεγάλη καὶ πρέπει νά ἐλαττωθῇ. "Ἄρα θά πρέπη ν' ἀριθμούσι τῶν διά τῆν ἀνάλογος τού ἀριθμού τῶν νουκλεονίων τῶν εύρισκομένων ἐπί τῆς ἐπιφανείας τού πυρήνος. 'Ο ἀριθμός τούτων είναι ἀνάλογος τῆς ἐπιφανείας τού πυρήνος ήτοι τού $A^{2/3}$. Τούτο δέ διότι, ως προκύπτει ἐκ τῆς εἰς ἐπόμενον κεφάλαιον υπολογιζομένης ἀντίτιπης τού πυρήνος, αὕτη είναι ἀνάλογος τού $A^{1/3}$, ήτοι $R \sim A^{1/3}$ καὶ ἄρα ἐπιφάνεια $\sim A^{2/3}$. Ἐπομένως:

$$E_o = \alpha_o A^{2/3} \quad (1.22)$$

Δηλαδή δ δρός οὗτος είναι ἀνάλογος τῆς ἐπιφα-

νειακής ένεργειας τής ύγρας σταγόνος. Δεδομένου δέ ότι μέ ανέησιν τοῦ Α, δ λόγος τής έπιψυνείας πρός τόν δύκον ἐλαττούται, έπειτα δτι δύρος οὗτος καθίσταται διάγωτερον σημαντικός διά μεγάλας τιμάς τοῦ Λ.

3) 'Ο τρίτος δύρος περιγράφει τήν ἐλάττωσιν τής σταθερότητος τοῦ πυρήνος λόγῳ τῶν ἀπωστικῶν δυνάμεων Coulomb μεταξύ τῶν πρωτονίων τοῦ πυρήνος. Αἱ ἀπωστικά δυνάμεις Coulomb διακρίνονται τῶν πυρηνικῶν δυνάμεων, καθ' δσον ἔκτείνονται μεταξύ δλων τῶν πρωτονίων τοῦ πυρήνος. Σύνειώδες δέν έμφανίζουν κορεσμόν. 'Εκιστον λοιπόν τῶν Ζ πρωτονίων τοῦ πυρήνος ἀντιδρᾶ μέ (Ζ-1) πρωτόνια, καί συνειώδεσαι ἀπωστικά δυνάμεις είναι ἀνάλογοι τοῦ Ζ(Ζ-1). 'Εκαν θεωρήσωμεν τό φορτίον τῶν πρωτονίων δμοιομόρφως κατανεμημένον ἐπί σφαίρας ἀκτίνος R, τότε ή ένεργεια λόγῳ τοῦ φορτίου τῶν πρωτονίων θά είναι ἀνάλογος τοῦ Ζ(Ζ-1):R, ήτοι:

$$E_c = \alpha c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \quad (1.23)$$

καθ' δσον $R = r_0 A^{1/3}$. 'Ο συντελεστής $\alpha_c = 0,595$ MeV.

'Ο δύρος οὗτος καθίσταται σημαντικός διά μεγάλας τιμάς τοῦ Ζ.

4) 'Ο τέταρτος δύρος σχετίζεται μέ τήν περίσσειαν τῶν νετρονίων είς τόν πυρήνα. Είς προηγούμενα ιεράλατια ἀνεφέρθη δτι, διά δεδομένην τιμήν τοῦ Λ, ύπάρχει μία ώρισμένη σχέσις νετρονίων-πρωτονίων, ήτις σχετίζεται μέ τούς σταθερούς πυρήνας. 'Η σχέσις αὕτη διά τούς ἐλαφρούς πυρήνας είναι $N=Z$. Διά τήν σταθεροποίησιν τῶν πυρήνων μεγαλυτέρουν ἀτομικού ἀριθμούς ἀπαιτεῖται ή σπαρξις μιᾶς περισσείας νετρονίων $N-Z=A-2Z$, ήτις ἀντισταθμίζει τάς ά-

πωστικάς δυνάμεις Coulomb. Τά έν περισσεία όμως νετρόνια καταλαμβάνουν ύψη λογιστέρας στάθμας ένεργειας, έντος τού πυρήνος, άπο τά υπόλοιπα $2Z$ νουκλεόνια παί ώς ἐκ τούτου ή μέση ένεργεια συνδέσεως τούτων είναι μικροτέρα της τιμής των νουκλεονίων. Πρέπει νά τονισθῇ, δτι η σταθεροποίησις τῶν πυρήνων διά τῶν νετρονίων περιελήφθη εἰς τὸν πρῶτον δρον, ήτοι τήν ένέργειαν δγκου, άλλα ή παρεῖας έν περισσεία νετρονίων προκαλεῖ μίαν ωσυμμετρίαν εἰς τὸν πυρήνα διά τὸν προαναφερθέντα λόγον. Διά $N=Z$ δ δρος οὗτος παθίσταται μηδέν. 'Ο δρος οὗτος είναι:

$$E_a = \alpha_a \frac{(A-2Z)^2}{A} \quad (1.24)$$

Ένθα $\alpha_a = 19,9$ MeV.

5) 'Ο τελευταῖος δρος έκφράζει τήν πειραματικήν, διαπίστωσιν δτι πυρήνες τύπου $a-a$, εἰς τούς δροίους έκαστον νουκλεόνιον συζεύγνυται μεθ' ἐνός ἑτέρου νουκλεονίου τού αὐτού εἰδους, διακρίνονται διά τήν μεγάλην σταθερότητα τούτων. Συνεπῶς ή ηύξημένη αὕτη σταθερότης χαρακτηρίζεται διά μιας θετικῆς συνεισφορᾶς εἰς τήν ένέργειαν συνδέσεως. Οι μικρᾶς σταθερότητος πυρήνες $\pi-\pi$ χαρακτηρίζονται διά μιας άρνητικῆς συνεισφορᾶς εἰς τήν ένέργειαν συνδέσεως. Συνεπῶς έχομεν:

$$E_\delta = \pm \frac{\alpha_\delta}{A} \quad (1.25)$$

Ένθα $\alpha_\delta = 135$ MeV

Εἰς πυρήνη μέ Λ=περιττόν, τύπος $a-\pi$, $\pi-a$, έχει έν μονήρες νουκλεόνιαν, ἐνώ διά Λ=άρτιον, έχομεν εἴτε άνο μονήρη νουκλεόνια (τύπος $\pi-\pi$) εἴτε οὐδέν (τύπος $a-a$). Συνεπῶς δ δρος συζεύξεως είναι θετικός διέ πυρήνας $a-a$, άρνητικός διά πυρήνας $\pi-\pi$ παί μηδέν διά πυρήνας $a-\pi$ ή $\pi-a$.

ητοι

$$E_\delta = + \frac{135}{A} \text{ διά } \alpha-\alpha \text{ πυρήνας} \quad (1.26)$$

$$E_\delta = 0 \text{ διά } \pi\pi \text{ και } \alpha-\alpha \text{ πυρήνας} \quad (1.27)$$

$$\text{και } E_\delta = - \frac{135}{A} \text{ διά } \pi-\pi \text{ πυρήνας} \quad (1.28)$$

Συνεπώς ή σχέσις (1.20) γράφεται:

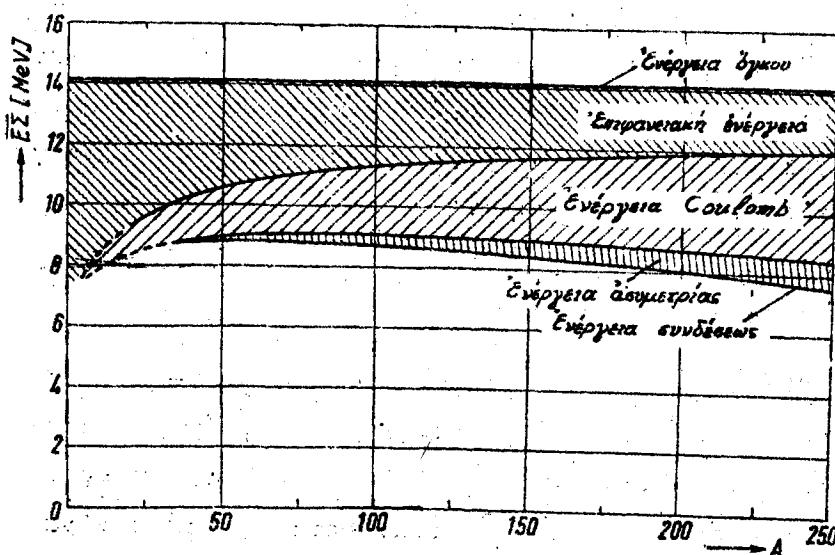
$$E\Sigma = \alpha_v A - \alpha_o A^{2/3} - \alpha_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - \alpha_a \frac{(A-2Z)^2}{A} \pm \frac{\alpha_\delta}{A} \quad (1.29)$$

Έγδια $\alpha_v = 14,1$ MeV, $\alpha_o = 13,1$ MeV, $\alpha_c = 0,595$ MeV, $\alpha_a = 19,9$ MeV και $\alpha_\delta = 135$ MeV.

Η σχέσις αυτή δίδει τήν ένέργειαν συνδέσεως, ή τήν μάζαν, δλων τῶν πυρήνων, διά $A > 40$, μέ καλήν προσέγγισιν. Η ένέργεια συνδέσεως ένα νουκλεόνιον είναι:

$$\bar{E}\Sigma = \frac{E\Sigma}{A} = \alpha_v - \frac{\alpha_o}{A^{1/3}} - \alpha_c \frac{Z(Z-1)}{A^{4/3}} - \alpha_a \frac{(A-2Z)^2}{A^2} \pm \frac{\alpha_\delta}{A^2} \quad (1.30)$$

Αποδίδοντες τήν σχέσιν $\bar{E}\Sigma = f(A)$ εἰς διάγραμμα (Σχ. 1.8)



Σχ. 1.8. Ένέργεια συνδέσεως κατά νουκλεόνιον σύμφωνα με τον μαζικούς δρυμό. Ένέργεια δρυμού-έπιφανειας-Coulomb-κυρμμετρίας.

παρετηρούμεν δτι αι ένέργειαι έπιφανείας καί Coulomb προκαλούν τό εύρο μέγιστον είς τήν καμπόλην ένεργείας συνδέσεως κατά νουκλεόνιον. Ο δρος άσυμμετρίας άποτελεῖ μικρόν διορθωτικόν παράγοντα. Ο δρος συξενέεως δέν έληφθη ύπ' θέριν είς τήν καμπόλην ταντην.

Είς τόν πίνακα (1.2) δίδονται μερικαί τιμαί τῶν δρων τής έξισώσεως Weizsäcker διά διάφορά νουκλίδια.

1.12. Ένέργεια συνδέσεως καί ισοβαρεῖς μεταβολαί

Η προηγουμένη σχέσις τοῦ Weizsäcker δύναται: νά χρησιμοποιηθῇ διά τήν εύρεσιν τής μάζης τοῦ πυρήνος. Ή μάζα τοῦ πυρήνος, διδομένη ύπό τής σχέσεως $M = ZM_H + NM_n - E\Sigma$, γράφεται:

$$\begin{aligned} M &= ZM_H + NM_n - E\Sigma \\ &= ZM_H + (A-Z)M_n - E\Sigma \\ &= ZM_H + (A-Z)M_n - \alpha_v \Lambda + \alpha_o \Lambda^{2/3} + \alpha_c \frac{Z(Z-1)}{\Lambda^{1/3}} + \alpha_a \frac{(A-2Z)^2}{\Lambda} \pm \frac{\alpha_\delta}{\Lambda} \quad (1.31) \end{aligned}$$

Έκτελούντες τάς πράξεις εύρισκομεν:

$$M = \left(\frac{\alpha_c}{\Lambda^{1/3}} + \frac{4\alpha_a}{\Lambda} \right) Z^2 - \left(M_n - M_H + \frac{\alpha_c}{\Lambda^{1/3}} + 4\alpha_a \right) Z + A \left(M_n + \alpha_\alpha + \frac{\alpha_o}{\Lambda^{1/3}} - \alpha_v \right) \pm \frac{\alpha_\delta}{\Lambda} \quad (1.32)$$

$$\text{ή} \quad M = \alpha Z^2 - \beta Z + \gamma A \pm \frac{\alpha_\delta}{\Lambda} \quad (1.33)$$

$$\text{Ένδια} \quad \alpha = \frac{\alpha_c}{\Lambda^{1/3}} + \frac{4\alpha_a}{\Lambda}, \quad \beta = M_n - M_H + \frac{\alpha_c}{\Lambda^{1/3}} + 4\alpha_a$$

$$\gamma = M_n + \alpha_\alpha + \frac{\alpha_o}{\Lambda^{1/3}} - \alpha_v, \quad M_n = 939,55 \text{ MeV} \quad \text{καί}$$

$$M_H = 938,77 \text{ MeV}$$

Π Ι Ν Α Ε 1.2.

Τιμαί ένεργειας συνδέσεως διαφόρων πυρήνων

Nούνλίδια	${}^{40}_{20}\text{Ca}$	${}^{50}_{23}\text{V}$	${}^{100}_{42}\text{Mo}$	${}^{138}_{56}\text{Ba}$	${}^{187}_{75}\text{Re}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
'Ενέργεια δύνου MeV	+560	+698,2	+1397	+1933	+2612	+3223
'Ενέργεια έπιπλανείας "	-153	-176,9	-281,1	-348	-426	-500
'Ενέργεια Coulomb "	-68,4	-83,8	-221,6	-355	-574	-797
'Ενέργεια 'Ασυμμετρίας"	0	-6,1	-49,6	-92,8	-140	-237
'Ενέργεια συζεύξεως "	+ 3,3	- 1,8	+ 1,1	+ 0,98	0	+ 0,5
EΣ MeV	342	429,6	845,2	1118,2	1470	1789,9
$\overline{E\Sigma} = \frac{E\Sigma}{A}$	8,52	8,59	8,45	8,17	7,86	7,52

Είς μίαν β-διάσπασιν, οίουδήποτε είδους, τό A δέν μεταβάλλεται.

Διά A=Constant, οι συντελεσταί α, β, γ , είναι σταθεροί καί η έξισωσις (1.33), περιέχουσα μόνον τούς δρους Z καί Z², είναι έξισωσις παραβολής. Άνεφέρθη πρηγουμένως, ότι διά A=περιττός άριθμός, ήτοι διά πυρήνας α-π καί π-α, δ δρος συζεύξεως $\frac{\alpha_c}{A}$ είναι μηδέν. Ή ένέργεια συνδέσεως μεταβάλλεται κατά παραβολικόν τρόπον μετά τούς Z. Έναν A=άρτιος άριθμός, ήτοι διά πυρήνας α-α καί π-π, $\alpha_c = \pm 135 \text{ MeV}$, θά υπάρχουν δύο παραβολαί άντιστοιχούσαι είς τήν θετικήν καί τήν άρνητικήν τιμήν τούς δρου συζεύξεως. Αί δύο παραβολαί διαχωρίζονται άπό πλευρής μάκης μεταξύ των κατά $2 \times \frac{135}{A} \text{ MeV}$. Τό σχήμα (1.39) άποδίδει τήν υπολογιζόμενην βάσει τής σχέσεως (1.33) παραβολήν διά A=105. Εφ' δσον ή μάζα άποτελεῖ μέτρον τούς ένεργειακούς περιεχομένου, έπειτα ότι δ πυρήν δ εύρισκομενος είς τό έλάχιστον τής καμπύλης άντιστοιχεῖ είς πυρήνα μέ τήν μεγύστην ένέργειαν συνδέσεως καί συνεπῶς είναι δ σταθερώτερος. Ο άτομικός άριθμός Z₀, δστις άντιστοιχεῖ είς τό σημείον τούτο, εύρισκεται έκ τής σχέσεως

$$\left(\frac{\partial M}{\partial Z} \right)_A = 0 = 2\alpha Z_0 - \beta \quad (1.34)$$

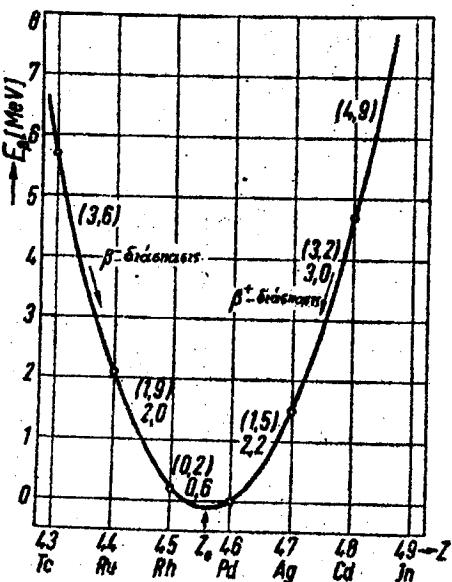
ήτοι:

$$Z_0 = \frac{\beta}{2\alpha} \quad (1.35).$$

Είς τήν περίπτωσιν καθ' ήν A=105 εύρισκομεν

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{A^{1/3}} + \frac{4\alpha_a}{A} = \frac{0,595}{(105)^{1/3}} + \frac{4 \cdot 19,9}{105} = 0,833$$

$$\beta = M_n - M_H + \frac{\alpha_c}{A^{1/3}} + 4\alpha_a = 0,78 + \frac{0,595}{(105)^{1/3}} + 4 \cdot 19,9 = 30,5$$



Σχ. 1.9. Παραβολικόν διάγραμμα ἐνεργείας διά τά ίσοβαρή νουκλίδια μέ A=105. Οι έντος παρενθέσεως ἀριθμοί δηλοῦν τάς πειραματικάς τιμάς ἐνεργείας β-διασπάσεως. Οι έκτος παρενθέσεως ἀριθμοί δηλοῦν τάς διπολογισθείσας τοιαύτας. Ο ξών ἐνεργείας δίδει τήν διαφοράν ἐνεργείας ή μάζης τῶν ίσοβαρῶν ἐν σχέσει πρός τότε Pd.

εἶγαι· ίση πρός τήν διαθέσιμον ἐνέργειαν τῆς β-μετατροπῆς. Ής ἀνεφέρθη εἰς προηγούμενον κεφάλαιον, οἱ πυρήνες οὗτινες κεῖνται ἐκατέρωθεν τῆς γραμμῆς σταθερότητος περιέχουν περισσότερα ή διπλιγνύτερα νετρόνια καὶ έναντι τῶν πυρήνων τῶν κειμένων ἐπί τῆς γραμμῆς σταθερότητος. Οὕτως εἴς τό σχῆμα (1.9) η σχέσις N:Z διά τούς πυρήνας τούς κειμένους

καί άρα:

$$Z_0 = \frac{\beta}{2\alpha} = \frac{80,5}{2 \cdot 0,883} = 45,6$$

Η τιμή αὕτη συμφωνεῖ μέ τὰ πειραματικά δεδομένα.

Τό Pd-105 (Z=46) εἶναι τό μόνον σταθερόν νουκλίδιον δλων τῶν ίσοβαρῶν μέ μαζικόν άριθμόν A=105. Όλα τά άλλα ίσοβαρή νουκλίδια εἶναι μή σταθερά έναντι τοῦ Pd-105 καί δύνανται ύπο ἀπόδοσιν ἐνεργείας καί μεταβολήν εἰς τό Z νά μεταπέσουν εἰς τό σταθερόν Pd-105. Η διαφορά εἰς τήν μᾶζαν, ήτοι η διαφορά εἰς τάς ἐνεργείας συνδέσεως δύο διαδοχικῶν νουκλίδίων,

δεξιά τού έλαχίστου είναι μικρά. Συνεπώς πρέπει να έκπεμπουν πολιτρόνια ή να υφίστανται σύλληψην ήλεκτρογίου ούτως ώστε να μεταβάλλουν τήν σχέσιγνων πετρονίων πρωτονίων άπό $A-Z/Z$ είς τήν μεγαλυτέραν τιμήν. $(A-Z+1)/(Z-1)$ έλαττονένου τού άτομικού άριθμού Z . Αντιθέτως, πυρήνες κείμενοι ήριστερά τού έλαχίστου έχουν σχέσιγν $A-Z/Z$ μεγάλην καί δι' έκπομπής ήλεκτρονίου μεταπίπτουν είς $(A-Z-1)/(Z+1)$, ήτοι τείνουν να σταθεροποιηθούν. Η διαθέσιμος ένέργεια, βάσει τῶν προηγουμένων, διά μίαν $\beta-\delta$ -άσπασιν είναι:

$$E_{\beta} = M(Z) - M(Z+1) = \alpha Z^2 - \beta Z - \alpha(Z+1)^2 + \beta(Z+1) \quad (1.36).$$

Βάσει τῆς σχέσεως $Z_0 = \frac{\beta}{2\alpha}$ εύρισκομενής

$$E_{\beta} = 2\alpha(Z_0 - Z - \frac{1}{2}) \quad (1.37).$$

Η σχέσις αυτή δεικνύει δτι ή ένέργεια τῆς $\beta-\delta$ -ασπάσεως αύξανει, συνεπώς έλαττονται ή σταθερότης τού πυρήνος, μέ αύξησιν τῆς άποστάσεως άπό τὸ σημεῖον σταθερότητος Z_0 . Λί τιμαί ανταί, πειραματικά καί όπολογισθεῖσαι, δίδονται είς τό σχῆμα (1.9).

Έκ τού σχήματος παρατηρούμεν δτι έκαστη παραβολή, ήτις άντιστοιχεῖ είς μίαν σειράν ισοβαρῶν νουκλιδίων, έχει ἐν μόνον έλαχίστον. Δηλαδή έξ δλης τῆς σειρᾶς τῶν ισοβαρῶν νουκλιδίων, μέ $A=105 =$ περιττόν, ύπαρχει ἐν μόνον σταθερῶν νουκλιδίων τού διποίου διτομικός άριθμός Z κείται έπι τού Z_0 ή λίαν πλησίον αύτού. Τούτο έξηγεται πρῶτον κανδνα τού Mattauch: Είς έκαστον περιττόν μαζικόν άριθμόν άντιστοιχεῖ ἐν μόνον σταθερῶν νουκλιδίων: Εξαίρεσιν τού κανόνος τούτου άνευρισκόμεν είς τούς μαζικούς ήριθμούς $A=113$ καί $A=123$,

*Η έξιγησις τῆς παρατηρούμενης ἔξαιρέσεως, ήτοι τῆς υπάρξεως δύο σταθερῶν ισοβαρῶν ζευγῶν Cd-113 — In-113 καὶ Sb-123 — To-123, εἶναι δτι αἱ μᾶζαι αὐτῶν ἐλάχιστα διαφέρουν μεταξύ των, οὕτως ὡστε, μολονότι τότε ἔν ἔξι ἑκάστου ζεύγους νουκλίδιον ήτοι τὸ Cd-113 καὶ τὸ Te-123 εἶναι ἀσταθέες, ἐν τούτοις δὲ χρόνος υποδιπλασιασμοῦ τούτων εἶναι τόσον μεγάλος ὡστε νά μή δύναται ν' ἀνιχνευθῆ διά τῆς παρούσης τεχνικῆς. Πρό τινος υπῆρχον καὶ ξεπράτις ἔξαιρέσεις ὡς ἐπί παραδείγματι τὸ ζεῦγος νουκλίδιων In-115 καὶ Sn-115. Ἐν τούτοις ἀπεδείχθη δτι τὸ In-115 εἶναι ραδιενεργόν μέχρι χρόνου υποδιπλασιασμοῦ $6 \cdot 10^{14}$ τη.

'Εάν δὲ μαζικός ἄριθμός εἶναι ἄρτιος, A=ἄρτιος, τότε κατὰ τά προηγούμενα ἔχομεν δύο παραβολάς, μίαν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς ισοβαρή νουκλίδια τύπου α-α. καὶ μίαν ἀντιστοιχοῦσαν εἰς ισοβαρή νουκλίδια τύπου π-π. Τούτο δέ ὀφείλεται εἰς τὸ γεγονός δτι ὡς δεικνύει η σχέσις (1.31), ή μάζα ἐλαττοῦται (καὶ συνεπῶς η σταυρότης αὔξανει), δταν ἐν προστιθέμενον εἰς τὸν πυρήνα πρωτόνιον ή νετρόνιον σχηματίζει ζεῦγος. 'Η παραβολή συνεπῶς ήτις κεῖται όφελότερον ἀναφέρεται εἰς νουκλίδια τύπου π-π, ἐνώ η κατωτέρα παραβολή ἀντιστοιχεῖ εἰς νουκλίδια τύπου α-α. 'Η μεταξύ τῶν δύο παραβολῶν ἀπόστασις εἶναι διπλασία τῆς ἐνεργείας συζεύξεως.

Τό σχῆμα (1.10) δεικνύει εύθεως διατί εἶναι δυνατόν νά ἔχωμεν περισσότερα τοῦ ἑνός σταθερά ισοβαρή νουκλίδια μέχρι τοῦ ἐλαχίστου νουκλίδια διασπῶνται δι' ἐκπομπῆς ήλεκτρονίου, ἐνώ τά δεξιόθεν κείμενα διασπῶνται δι' ἐκπομπῆς

ποιειτρόνιου ή διά συλλήψεως ήλεκτρονίων. Έφ' δον δημιουργήθηκαν μέσαν β-διάσπασιν ένδεις α-α πυρήνος προκύπτει εἰς π-π πυρήν καὶ ἀντιστροφώς, έπειτα: δτι ἡ β-διάσπασις ὁδηγεῖ ἐκ τῆς μιᾶς παραβολῆς εἰς τὴν ἑτέραν.

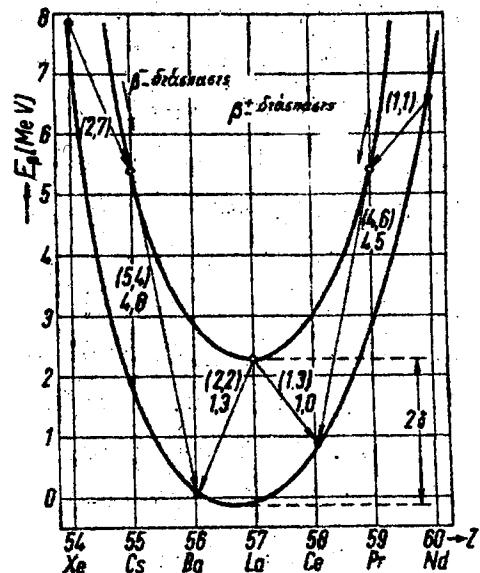
Αἱ δυναταὶ β-διάσπασεις δίδονται: εἰς τὸ σχῆμα (1.10) ύπό βελῶν καὶ ἡ ἐνέργεια τῆς β-διάσπασεως ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν διαφορὰν τῆς, ἀντιστοίχου τῶν μαζῶν, ἐνεργείας μεταξύ τῶν ἀναγραφομένων νουκλιδίων.

Ἐφ' δον, λόγῳ τῆς ἐνέργειας συζεύξεως, ἡ παραβολὴ ἡ ἀντιστοιχοῦσα εἰς π-π ἰσοβαρῇ νουκλίδια κεῖται ύπεράνω τῆς παραβολῆς τῆς ἀντιστοιχούσης εἰς

Σχ. 1.10. Παραβολ. διάγραμμα ἐνέργειας διά τὰ ἰσοβαρῇ μέ A = 138.

α-α ἰσοβαρῇ νουκλίδια, έπειτα: δτι δέν ἀναμένεται, γενικῶς, μέ ἔξαίρεσιν τὴν ἐν συνεχείᾳ ἔξεταζομένην περίπτωσιν, νουκλίδια π-π νά εἶναι σταθερά. Εξετάζοντες εἰς τὴν κατωτέραν παραβολὴν τὸ Ce-138, παρατηροῦμεν δτι τοῦτο κεῖται ὅφηλότερον τοῦ Ba-138 καὶ συνεπῶς θά ἔπειτε νά μεταπέσῃ διά β⁺-διάσπασεως εἰς τὸ σταθερόν Ba-138.

Κατά τὴν β-διάσπασιν ταύτην τοῦ Ce-138 θά ἔπειτε τοῦτο νά μεταπέσῃ πρῶτον εἰς La-138 καὶ ἔξ αὐτοῦ εἰς Ba-138. Άλλ' ἡ μάζα τοῦ La-138 εἶναι, ὡς δείκνυται εἰς τὸ σχῆμα, μεγαλυτέρα τῆς μάζης τοῦ Ce-138 καὶ ὡς ἐκ τούτου μία



τοιαύτη διάσπασις δέν είναι δυνατή. Τοῦτο ἐξηγεῖ διατί τό Ce-138 είναι σταθερόν μολονότι ή διαφορά μάζης μεταξύ Ce-138 καὶ Ba-138 εύνοεῖ διάσπασιν τοῦ πρώτου πρός τὸ δεύτερον νουκλίδιον. Κατά συνέπειαν εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν ἔχομεν δύο σταθερά ισοβαρή νουκλίδια καὶ δχι ἐν (Ce-138 καὶ Ba-138). Υπάρχει δμως μία ἐτέρα δυνατότης διασπάσεως. Εἶναι δηλαδή δυνατόν τό Ce-138 νά υποστῇ διπλῆν, ὡς λέγομεν, β^+ -διάσπασιν διὰ ταυτοχρογούν ἐκπομπῆς δύο ποζιτρονίων, καὶ νά μεταπέσῃ κατ' εὐθείαν εἰς τό Ba-138 παρακαμπτομένου οὕτως εἰπεῖν τοῦ La-138. Ή διπλῆ δμως αὐτῇ β -διάσπασις, ήτις ἀναπτύσσεται εἰς τό κεφάλαιον τῆς β -διασπάσεως, ἀντιστοιχεῖ εἰς χρόνον ύποδιπλασιασμοῦ τῆς τάξεως 10^{20} - 10^{24} ἑτη καὶ είναι πέραν τῶν σημερινῶν δυνατοτήτων ἀνιχνεύσεως. Κατά συνέπειαν δυνάμεθα νά θεωρήσωμεν τό Ce-138 ώς σταθερόν. Τό La-138, κείμενον ύφηλότερον τοῦ Ce-138 καὶ Ba-138, ἔχει τοιουτότροπως δύο δυνατότητας β -διασπάσεως. Είτε δηλαδή νά υποστῇ β^- -διάσπασιν μεταπίπτον εἰς Ce-138, είτε β^+ -διάσπασιν μεταπίπτον εἰς Ba-138. Βάσει τῶν ἀνωτέρω δ δεύτερος κανῶν τοῦ Mattauch ἔχει ώς ἐξῆς: Σταθερά νουκλίδια μὲ ἄρτιον μαζικόν ἄριθμον ἔχουν ἄρτιον ἄριθμον πρωτονίων καὶ ἄρτιον ἄριθμον νετρονίων (νουκλίδια α-α).

Ως ἐξαίρεσις ἀνυψέρουται τά 4 σταθερά ἐλαφρά νουκλίδια D, Li-6, B-10, N-14 ώς καὶ τό Ta-180, τό δποτον δμως είναι, πιθανῶς, ραδιενεργόν μέ χρόνον ύποδιπλασιασμοῦ λίαν μεγάλον.

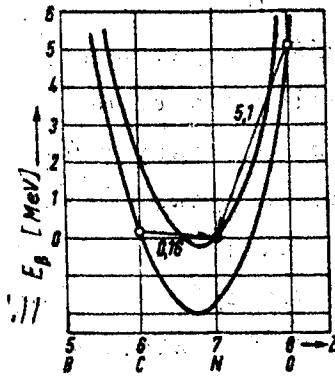
Τά 4 ταῦτα σταθερά νουκλίδια είναι τοῦ τύπου π-π καὶ ή σταθερότης αὐτῶν ἐξηγεῖται ἐκ τῆς ἀποτόμου κλίσεως τῆς παραβολῆς, καθ' δσον αὐτῇ ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ $\alpha = \frac{\alpha_e}{A^{1/3}} + \frac{4\alpha_a}{A}$.

"Οσον μικροτέρα είναι ή μάζα (όρα καί δ μαζικός άριθμός) Α) τόσον πλέον άποτομος είναι ή παραβολή. Τό σχήμα (1.11) άποδίδει τήν περίπτωσιν σταθερών π-π νουκλιδίων. Τό νου-

κλίδιον N-14 είναι τό μόνον σταθερόν νουκλίδιον, διά A=14, καθόσεν τά νουκλίδια C-14 καί O-14 κείμενα ύπεράνω τού N-14 είναι ραδιενεργά. Τά μή συνείσευγμένα νουκλεόνια, ήτοι έν πρωτόνιον καί έν γετρόνιον είς τά σταθερά ταῦτα π-π νουκλίδια (διά τά δύο ία Z=N) έχουν παράλληλα spin.

Πρέπει νά τονισθῇ δτι ή σταθερότης τῶν νουκλιδίων είς τάς ισοβαρεῖς ταύτας παραβολάς άναφέρεται: είς δεδομένον μόνον μαζικόν άριθμόν. Είς έτερον μαζικόν άριθμόν ή σταθερότης τῶν ισοβαρών νουκλιδίων είναι διάφορος. Οδτως, ένω διά A=138 τά σταθερά νουκλίδια είναι Ba-138 καί Ce-138, διά A=140, τό σταθερόν νουκλίδιον είναι τό Ce-140, ένω τό Ba-140 είναι άσταθές μεταπίπτων είς La-140 καί τούτο είς Ce-140. Διά A=141 οδτε τό Ba-141 οδτε τό Ce-141 είναι σταθερά άλλα τό Pr-141.

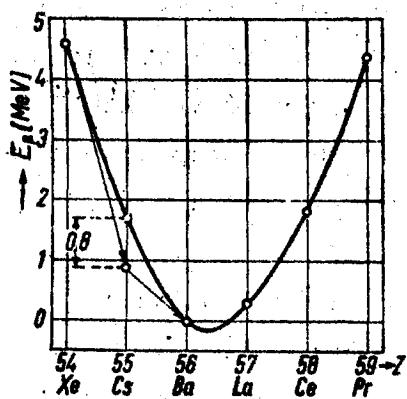
Είς τήν περίπτωσιν νουκλιδίων τά δύο ία, λόγω ίδιαιτέρας κατανομῆς τῶν νουκλεονίων έντός τού πυρήνος, είναι ίδιαιτέρως σταθερά, ταῦτα κείνται άσταθεν τής παραβολής, καθόσον ή άπολογισθεῖσα ένέργεια συνδέσεως είναι μικροτέρα. Τούτο, παρίσταται είς τό σχήμα (1.12). Μία τοιαύτη περίπτωσις σχετίζεται μέ τούς μαγικούς ά-



Σχ. 1.11. Παραβολικόν διάγραμμα ένέργειάς διά τά ισοβαρή μέ τό A = 14.

ριθμούς έξηγούμενη διά τού σχηματισμού υπό τῶν νουκλεονίων κλειστῶν στιβάδων ἐντός τού πυρήνος κατ' ἀναλογίαν

πρός τάς κλειστάς στιβάδας τῶν ἡλεκτρονίων. Η διαφορά μεταξύ τῆς μετρουμένης ἐνεργείας συνδέσεως καὶ τῆς υπολογιζομένης υπό τῆς ἡμιεμπειρίας ἔξισώσεως ἀποτελεῖ μέτρον τῆς ἐπί πλέον σταθερότητος λόγω σχηματισμού κλειστῶν στιβάδων.



Σχ. 1.12. Απόκλισις ἐν τού παραβολικού διαγράμματος ἐνεργείας μέ. $A=137$ λόγῳ μαγικού ἀριθμού

$$N = 82.$$

1.13. Κανόνες ισοβαρῶν καὶ ισοτόπων.

Ἐκ τῆς μελέτης τοῦ ἐνεργειακοῦ περιεχομένου τῶν νουκλιδίων προκύπτουν οἱ ἔξις κανόνες ισοβαρῶν οἵτινες χαρακτηρίζονται καὶ ὡς κανόνες τοῦ Mattauch.

1) Εἰς ἔκαστον περιττόν μαγικόν ἀριθμόν ἀντιστοιχεῖ ἐν σταθερῶν νουκλίδιον.

2) Εἰς ἄρτιον μαγικόν ἀριθμόν ἀντιστοιχούν σταθερῶν νουκλίδια μέ. ἄρτιον ἀριθμόν πρωτονίων καὶ νετρονίων (νουκλίδια α-α).

Ὑπάρχουν 4 ἔξαιρέσεις μεταξύ τῶν ἐλαφρῶν νουκλιδίων ἥτοι τῶν D, Li-6, B-10 καὶ N-14.

3) Δέν υπάρχουν τενγη σταθερῶν ισοβαρῶν τῶν διοίων διάτομικος ἀριθμός νά διαφέρῃ κατά μονάδα. Οὕτως εἰς τὰ ισοβαρῆ νουκλίδια $^{40}_{18}A$, $^{40}_{19}K$ καὶ $^{40}_{20}Ca$, παρατηρούμεν δτι

τό K-40 είναι ραδιενεργόν, ένω τά νουκλίδια Λ-40 καί Ca-40 είναι σταθερά. 'Ομοίως έκ τῶν ισοβαρῶν νουκλίδιων $^{43}_{13}C$ καί $^{43}_{15}N$, τό N-13 είναι ραδιενεργόν. 'Εξαιρέσεις τού κανόνος τούτου είναι: τά ζεύγη $^{113}_{48}Cd - ^{113}_{49}In$ καί $^{123}_{51}Sb - ^{123}_{52}Te$. 'Ο κανών οὗτος προκύπτει: έκ τῶν προηγουμένων.

'Οι κανόνες τού Aston άναφέρονται εἰς ίσότοπα νουκλίδια:

4) Νουκλίδια μέ περιττόν Z έχουν έν δύο σταθερά ίσότοπα.

'Ο μαγικός άριθμός είναι περιττός καί έάν θάρχουν δύο σταθερά ίσότοπα οι μαγικοί άριθμοί αὐτῶν θά διαφέρουν κατά 2 μονάδας.

5) 'Εάν δύο μαγικοί άριθμοί Z είναι: Άρτιος, δύνανται νά θάρχουν πολλά σταθερά ίσότοπα άλλα μόνον έν δύο μέ περιττόν μαγικόν άριθμόν. Τά δύο ταυτά ίσότοπα νουκλίδια θά διαφέρουν κατά δύο μονάδας ώς προς τόν μαγικόν άριθμόν.

Οι κανόνες οὗτοι δικαιολογοῦν τό γεγονός ότι: τά στοιχεῖα τεχνήτιον (Z=43) καί Προμήθιον (Z=61) δέν θάρχουν εἰς τήν φύσιν. Κατά τόν κανόνα 4, έφ' δσον τό Tc έχει περιττόν Z δύναται: νά έχη 1 ή 2 σταθερά ίσότοπα. 'Ο μαγικός άριθμός τούτου θά ήτο περιττός άριθμός καί εἰς περίπτωσιν θάρξεως δύο ίσοτοπών οι μαγικοί αὐτῶν άριθμοί θά ξπρεπε νά διαφέρουν κατά δύο μονάδας. 'Εκ τῆς έξισώσεως Weizsäcker προκύπτει ότι οι μαζικοί άριθμοί οίτινες άντιστοιχούν εἰς σταθερά νουκλίδια θά ξπρεπε νά ήσαν A=97, 99 ή 101. Τό νουκλίδιον μέ Z=42 είναι τό Mo. Τούτο έχει τά έξης σταθερά ίσότοπα: A=92, 94, 95, 96, 97, 98, 100.

Το διαφέρον μεταξύ των νουκλίδιων με $Z=44$ είναι το R_u . Τούτο έχει τάξη 85% σταθερά ίσότοπα: $A=96, 98, 99, 100, 101, 102, 104$. Άλλα κατά τον ιανδνα 3 δέν υπάρχουν ζεύγη σταθερών ίσοβαρών τάξης πολλά νάνια διαφέρουν κατά μονάδα ώς πρόσθια τον Z . Κατά συνέπειαν άποκλείονται: οι δυνατοί μαζικοί άριθμοί 97, 99 και 101 ώς κατεχόμενοι ύπό τον πρόσθιο T_c , νουκλίδιου Mo και ύπό τον Pm , μετά το T_c , νουκλίδιου Ru . Σταθερόν T_c μέση μαζικού άριθμου $A < 91$ ή $A > 103$ δέν υπάρχει ώς κείμενον μακράν τής γραμμής σταθερότητος.

Καθ' θμοίον συλλογισμόν καταλήγομεν είς το αύτο συμπέρασμα και διά το Pm . Είς το προηγούμενον παράδειγμα παρατηρούμεν δτι το δισον το Mo δισον και το Ru έχοντα άριθμον Z , έχουν πολλά σταθερά ίσότοπα, άλλα μόνον δύο με περιττόν μαζικόν άριθμόν ($A=95$ και 97 ώς και $A=99$ και 101) διαφέροντα κατά δύο μονάδας ώς πρόσθια τον μαζικόν άριθμόν (κανών 5).

1.14. Δυνάμεις Coulomb και σταθερότης πυρήνων.

Ανεφέρθη προηγουμένως δτι αἱ πυρηνικαὶ δυνάμεις αἵτινες δροῦν μεταξύ τῶν νουκλεονίων τοῖς πυρῆνος είναι μικρᾶς ἐμβελείας ἐν ἀντιθέσει πρόσθιας απωστικάς δυνάμεις Coulomb, αἵτινες ἐπεκτείνονται ἐφ' ὅλην τῶν πρωτονίων τοῦ πυρῆνος. Ή ψπαρέσις τῶν δυνάμεων Coulomb προκαλεῖ μίαν ἀποσταθεροποίησιν τοῦ πυρῆνος και ἡ ἐνέργεια Coulomb εἰναι, κατά τήν ἔξισωσιν (1.23):

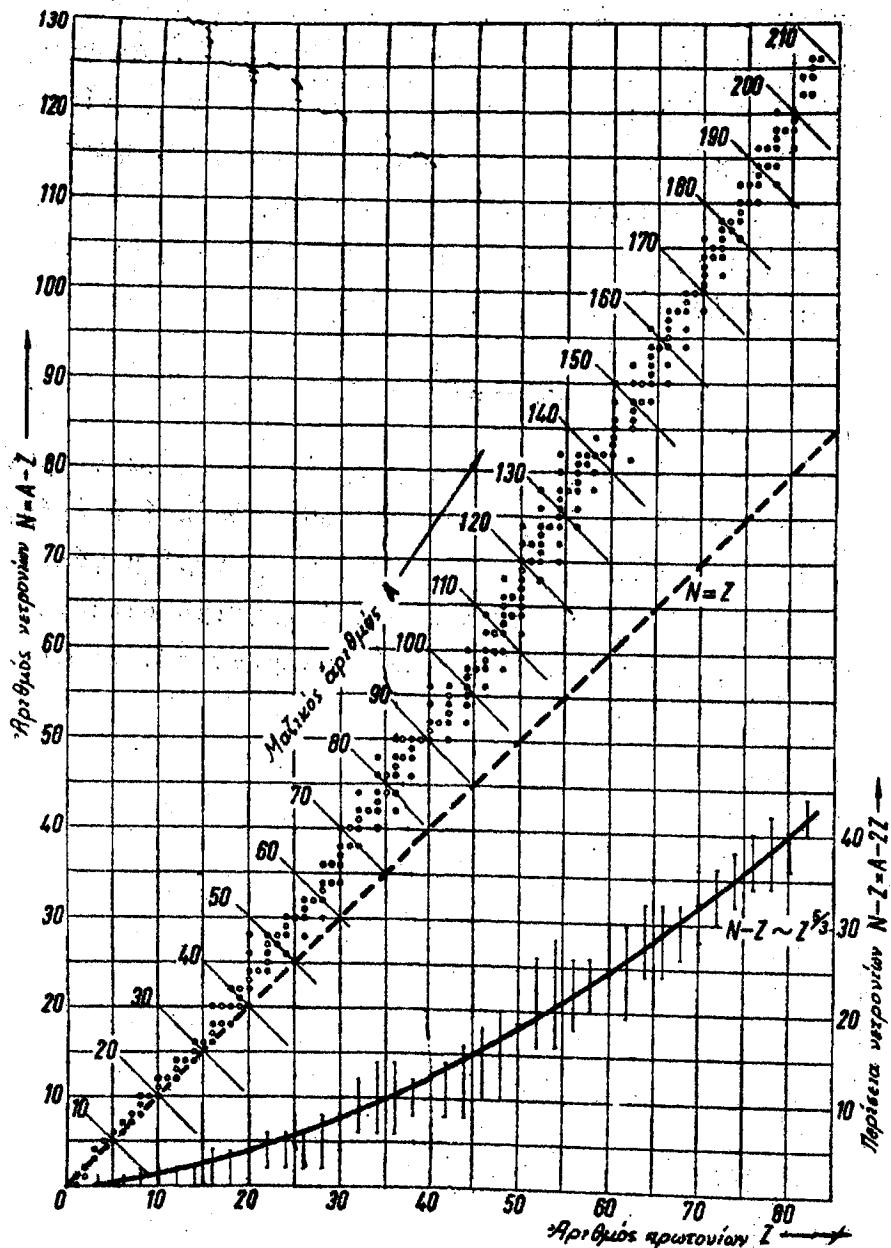
$$E_C = \alpha_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \approx \alpha_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} \quad (1.38)$$

Η ἐνέργεια αὕτη καθίσταται λίαν σημαντική είς μεγάλου άτομικοῦ άριθμοῦ νουκλίδια. Η περίσσεια νετρογίων

τοῦ πυρήνος ἀποσκοπεῖ εἰς τὴν ἀντιστάθμισιν τῶν ἡλεκτροστατικῶν ἀπώσεων τῶν πρωτονίων τοῦ πυρῆνος. Εάν θέσωμεν εἰς διάγραμμα τὸν ἀριθμόν τῆς περισσείας τῶν νετρονίων ἔναντι τοῦ ἀριθμοῦ τῶν πρωτονίων, λαμβάνομεν μίαν καὶ πύλην ἥτις εἶναι, μέν καλήν προσέγγισιν, ἀνάλογος τοῦ $Z^{5/3}$. Σχῆμα (1.13). Ἐκ τῆς (1.33), θεωρούντες κατά προσέγγισιν δτι τὸ Z εἶναι ἀνάλογον τοῦ Λ , προκύπτει:

$$E_c \approx \frac{Z^2}{A^{1/3}} \cdot \frac{Z^2}{Z^{1/3}} = Z^{5/3} \quad (1.39).$$

Παρατηρούμεν, κατά ταῦτα, δτι ἡ περίσσεια νετρονίων δεικνύει τὴν αὐτήν ἐξάρτησιν ἐκ τοῦ Z ὡς καί ἡ ἐνέργεια Coulomb καί δυνάμεθα συνεπῶς γένεται δεχθῶμεν μέ μεγάλην πιθανότητα δτι ἡ περίσσεια νετρονίων χρησιμοποιεῖται διά τὴν ἀντιστάθμισιν τῶν ἀπωστικῶν δυνάμεων τῶν πρωτονίων.



Σχ. 1.13. $N=f(Z)$ και $N-Z=f(Z)$. Η περίσσεια νετρονίων είναι άναλογος τοις $Z^{5/3}$.