

# ΧΗΜΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ

ΜΗΝΙΑΙΟΝ ΕΠΙΣΗΜΟΝ ΟΡΓΑΝΟΝ ΤΗΣ ΕΝΩΣΕΩΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΩΝ ΧΗΜΙΚΩΝ

Διοικητική Ἐπιτροπή: Ι. Ν. Ζαγανιάρης, Ι. Δ. Κανδήλης, Α. Δ. Σαραντίτης, Χ. Α. Στεριόπουλος, Ν. Σ. Καρνής

## ΜΕΤΑΣΤΟΙΧΕΙΩΣΕΙΣ

Ὑπὸ τοῦ κ. ΚΩΝΣΤ. Δ. ΖΕΓΓΕΛΗ, Μέλους τῆς Ἀκαδημίας  
Τακτ. καθηγητοῦ τῆς Ἀνοργάνου Χημείας ἐν τῷ Πανεπιστημίῳ Ἀθηνῶν

Ε΄.

### 1. Μεταστοιχειώσεις ἀκτινεργῶν.

Χαρακτηριστικὸν τῶν ἀκτινεργῶν στοιχείων εἶνε ἡ ἰδιότης τοῦ ν' ἀκτινοβολοῦν ἄνευ ἐξωτερικοῦ αἰτίου συνεχῶς ἐνέργειαν. Ὀλίγον βραδύτερον μετὰ τὴν ἀνακάλυψιν τοῦ ραδίου καὶ τοῦ πολωνίου, τῶν πρώτων γνωσθέντων ἀκτινεργῶν στοιχείων, οἱ Rutherford καὶ Soddy εὗρον (1903) ὅτι ἡ ἀκένωτος πηγή ἐνεργείας, τὴν ὁποίαν ἐκπέμπουν τὰ ἀκτινεργὰ στοιχεῖα, προέρχεται ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι τὰ ἄτομα αὐτῶν μεταστοιχειοῦνται συνεχῶς καὶ καθ' ὄρισμένον σταθερὸν μέτρον εἰς ἄλλα στοιχεῖα ἀπλοῦστερα, καὶ αὐτὰ κατὰ κανόνα ἀκτινεργὰ, μέχρι τοῦ σχηματισμοῦ στοιχείων μὴ ἀκτινεργῶν. Τὰ ποσὰ τῆς ἐνεργείας, αἵτινα κατὰ τὴν ἀκτινοβολίαν ταύτην ἐλευθεροῦνται ὑπὸ μορφὴν κινητικῆς καὶ ἠλεκτρικῆς ἐνεργείας, εἶνε κολοσσιαῖα σχετικῶς πρὸς τὸ ἐξόχως ἐλάχιστον ποσοῦν τῆς ὕλης ἥτις μεταστοιχειοῦται. Τὰ ποσὰ ταῦτα τῆς ἐνεργείας συνεκράτουν τὴν μεταστοιχειουμένην ὕλην ἐν τῷ μητρικῷ ἀτόμῳ καὶ τὰ ἀκτινοβολουόμενα εἶνε τὰ συντρίμματα τῶν μεταστοιχειουμένων ἀτόμων.

Ἡ μεταστοιχειώσις αὕτη γίνεται αὐτομάτως καὶ δι' οὐδεμιᾶς ἐξωτερικῆς ἐπιδράσεως καθίσταται δυνατὴ ἢ ἐπιτάχυνσις ἢ ἐπιβράδυνσις ταύτης.

### 2. Πρόκλησις τεχνητῆς μεταστοιχειώσεως.

Ἐπαξ οὕτω καταρριφθέντος τοῦ ἀξιώματος τοῦ ἀμεταβλήτου τῶν στοιχείων ἦτο φυσικὸν νὰ γεννηθῆ ἡ σκέψις καὶ ἡ προσπάθεια τῆς μεταστοιχειώσεως δι' ἐφαρμογῆς τεχνητῶν μέσων. Ἄλλ' ἡ ἐνδοατομικὴ ἐνέργεια, ἥτις συγκρατεῖ ἐν τῷ ἀτόμῳ τὰ συστατικὰ αὐτοῦ καὶ ἥτις ἔπρεπε νὰ ὑπερνικηθῆ διὰ τὴν ἐπίτευξιν τῆς συντριβῆς τοῦ ἀτόμου, εἶνε κολοσσιαία. Ὑπολογίζεται ὅτι ἡ θερμοκρασία ἥτις θ' ἀπαιτεῖτο πρὸς τοῦτο θὰ ἦτο τάξεως  $10^{10}$ , ἐνῶ ἡ ὑψίστη δυναμένη νὰ παραχθῆ θερμοκρασία εἶνε τάξεως  $10^3-10^4$ . Ἡ ἠλεκτρικὴ τάσις, ἥτις θ' ἀπαιτεῖτο, ὑπελογίσθη ἐπίσης εἰς 7 ἑκατομμύρια βόλτ. Τοιαῦτα συγκεν-

τρωμένα ποσὰ ἐνεργείας δὲν διαθέτομεν. Ὁ Rutherford εἶχε τὴν εὐτυχῆ ἔμπνευσιν νὰ ἐφαρμόσῃ πρὸς μεταστοιχειώσιν τὰς ἀκτίνες α τοῦ ραδίου, ὕλικά σωματῖα μάζης ἴσης μὲ τὴν τοῦ ἀτόμου τοῦ ἡλίου, μὲ διπλοῦν φορτίον ἠλεκτρικῆς, ἐξακοντιζόμενα μετὰ ταχύτητος ποικιλύσης 15.000 καὶ 20.000 χιλιομέτρων κατὰ 1", καὶ ἐπομένως μὲ κολοσσιαίαν κινητικὴν ἐνέργειαν. Μὲ αὐτὰς βομβαρδίζων διάφορα ἑλαφρὰ στοιχεῖα, ὡς τὸ βόριον, τὸ ἄζωτον, τὸ φθόριον, τὸ ἀργίλλιον κ.λ., κατῴρθωσε, εἰς μικρὰν πάντοτε κλίμακα, νὰ ἐκσπάσῃ ἐκ τοῦ πυρήνος πρωτόνια· ἀνὰ 100 χιλιάδας ἐξακοντιζομένων τοιούτων βλημάτων α κατὰ τοῦ βορίου ἀπεσπάτο ἐν ἄτομον ὕδρογόνου· ἴνα δὲ ἐκ τοῦ ἀζώτου ἐκσπασθῆ ἐν ἄτομον ὕδρογόνου ἐχρειάζετο βομβαρδισμὸς διὰ δεκαπλασίου ἀριθμοῦ ἀκτίνων α (ἡλιονίων).

Ἐκτοτε τὰ σχετικὰ πειράματα ἐπολλαπλασιάσθησαν. Νέα ἰσχυρὰ βλήματα ἐχρησιμοποιήθησαν καὶ σήμερον ἐπετεύχθη καὶ λεπτομερῶς ἐμελετήθη ἡ μεταστοιχειώσις ἐπὶ ὑπερεβδομήκοντα στοιχείων. Τὸ φαινόμενον τῆς μεταστοιχειώσεως, τὸ ὁποῖον ἀρχικῶς ἐπροξένησε κατὰ πληξιν καὶ μάλιστα διημφισβητήθη, σήμερον κατέστη γενικόν, ὡς τις συνήθης χημικὴ ἀντίδρασις.

### 3. Πηγαὶ βομβαρδισμοῦ.

Τὰ ἐξακοντιζόμενα πρὸς μεταστοιχειώσιν βλήματα πρέπει νὰ κατέχουν κινητικὴν ἐνέργειαν ἀνάλογον πρὸς τὴν ἐνδοατομικὴν ἐνέργειαν τῶν συστατικῶν τῶν πυρήνων. Εἶνε δὲ ταῦτα ἢ φυσικά, αὐτὰ αὐτὰ αἱ ἀκτινοβολαὶ τῶν ἀκτινεργῶν στοιχείων, ἢ καὶ τεχνητῶς προκαλούμενα ἢ ἐντεινόμενα.

Εἰς τὰ πρώτα καταλέγονται τὰ ἡλιόνια καὶ αἱ ἀκτίνες γ. Τὰ ἡλιόνια, ἦτοι ἀκτίνες α, τὰ ἐκσφενδονιζόμενα κατὰ τὴν διάσπασιν τῶν διάφορων ἀκτινεργῶν στοιχείων, δὲν ἔχουν πάντα τὴν αὐτὴν κινητικὴν ἐνέργειαν. Ἡ ἐνέργεια αὐτῶν εἶνε ἀνάλογος τῆς ταχύτητος τῆς μεταστοιχειώσεως ἐξ ἧς προέκυψαν καὶ ἥτις εἶνε διάφορος εἰς τὰ διάφορα στοιχεῖα, ποικίλλουσα

ἀπὸ 15.000 - 20.000 χιλιόμετρα κατὰ δευτερον λεπτόν.

Ὅσον δὲ μεγαλύτερα εἶνε ἡ ἐνέργεια τῶν ἀκτίνων  $\alpha$ , τόσον μακρότερον διάστημα διαπεροῦν εἰς τὸν ἀέρα, ἢ, ὡς λέγομεν, τόσον μεγαλύτεραν ἐμβέλειαν ἔχουν. Ἐπομένως ἡ ἐμβέλεια δύναται νὰ μᾶς χρησιμεύσῃ καὶ ὡς μέτρον τῆς κινητικῆς ἐνεργείας τῶν ἀκτίνων.

Τὴν μεγαλύτεραν ἐμβέλειαν ἐκ τῆς ομάδος τοῦ ραδίου δεικνύουν αἱ ἀκτίνες  $\alpha$  αἱ προερχόμεναι ἐκ τῆς μεταστοιχειώσεως τοῦ RaC τοῦ ὁποίου ἡ ἡμιπερίοδος ζωῆς εἶνε μόλις ἓν ἑκατομμυριοστὸν τοῦ 1'', ἀνέρχεται δὲ εἰς 7 ἐκ., ἐνῶ ἡ τῶν ἀκτίνων τοῦ ραδίου, τοῦ ὁποίου ἡ ἡμιπερίοδος ζωῆς εἶνε 3,8 ἡμέραι, ἡ ἐμβέλεια ἀνέρχεται μόνον εἰς 3,8 ἐκ.

Καὶ ἡ ἰσχύς (σκληρότης) τῶν ἀκτίνων  $\gamma$  εἶνε ἀνάλογος τῆς κινητικῆς ἐνεργείας (ταχύτητος) τῶν ἀκτίνων  $\beta$ , ἐξ ὧν δευτερογενῶς παράγονται.

Ἐξόχου ἐνεργείας βλήματα τεχνητῶς προκαλούμενα εἶνε τὰ νετρόνια, περὶ τῶν ὁποίων καταφέρω. Τούτων ἡ ἐνέργεια δύναται ν' ἀνέλθῃ εἰς 16 MVe.

Ὡς βλήματα τεχνητὰ εὐρέως χρησιμοποιοῦνται τὰ πρωτόνια  $H^1$  καὶ τὰ δευτόνια  $H^2$  (ἢ καὶ  $D^2$ ).

Εἰς ταῦτα παρέχεται ἐνέργεια κινητικὴ τεχνητῶς κατὰ τὴν μέθοδον τῶν Coekroft καὶ Walton (1932). Κατὰ ταύτην τὰ σωματῖα ταῦτα, διαβιβάζονται διὰ σωλῆνος ὅστις δι' ἰσχυροτάτης ἀντλίας τηρεῖται κενός, ὅτε ὑπὸ μεγάλης διαφορᾶς δυναμικοῦ ἐπαυξάνεται ἐξόχως ἡ κινητικὴ αὐτῶν ἐνέργεια.

Ὁ Lawence διὰ τελειοτάτου μηχανήματος εὐρισκομένου ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν ἐξόχως ἰσχυροῦ μαγνητικοῦ πεδίου (15.000 Gauss), κατορθώνει ὥστε ἠλεκτρισμένα σωματῖδια, καὶ δὴ δευτόνια, νὰ διέρχονται ἐπανειλημμένως διὰ τοῦ πεδίου τούτου ἑκατοντάδας τινὰς φορές, οὕτως ὥστε ἡ κινητικὴ τῶν ἐνεργεία αὐξάνει συνεχῶς καὶ φθάνει τὰ 3 ἑκατομμύρια Ve.

#### 4. Πειραματικὴ ἐφαρμογὴ καὶ ἔλεγχος ἀποτελεσμάτων.

Τὰ οὕτω λαμβανόμενα βλήματα προσβάλλουν μεταλλικὰ φυλλῖδια διαφόρων στοιχείων ἢ τοιαῦτα ἐφ' ὧν ἐπαλείφουν ἐνώσεις τῶν πρὸς μεταστοιχείωσιν δοκιμαζομένων στοιχείων καὶ τὰ προϊόντα τῆς ἀκτινοβολίας ἐξετάζονται ἀναλόγως τοῦ ἐκάστοτε σκοποῦ διὰ διαφόρων συσκευῶν.

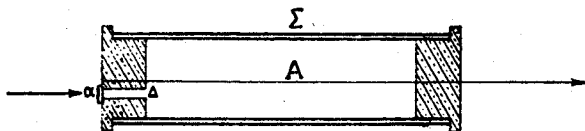
Ἐκ τούτων αἱ κυριώτεραι εἶνε ὁ θάλαμος Wilson καὶ οἱ δι' ἀκίδων μετρηταί.

Ὁ θάλαμος τοῦ Wilson στηρίζεται ἐπὶ τοῦ γνωστοῦ φαινομένου καθ' ὃ ἰόντα διαβιβαζόμενα δι' ὑπερκόρου ὑδρατμῶν θαλάμου συμπυκνοῦν κατὰ τὴν δίοδον αὐτῶν μικροσκοπικὰ σταγονίδια τὰ ὁποῖα φωτιζόμενα ἐντατικῶς δύνανται νὰ φωτογραφηθῶνται. Οὕτω λ.χ. διαβιβάζοντες  $\alpha$

ἢ  $\beta$  σωματῖα, τὰ ὁποῖα ἐξιονίζουν τὸν ἀέρα, καθιστῶμεν ὄρατὴν τὴν διαδρομὴν αὐτῶν.

Οἱ δι' ἀκίδων μετρηταί, τῶν ὁποίων γνωστότερος εἶνε ὁ τοῦ συστήματος Geiger-Müller στηρίζονται εἰς τὴν μέτρησιν δι' εὐαίσθητου ἠλεκτρομέτρου τῶν δι' ἰσχυροῦ ἠλεκτρικοῦ πεδίου, περὶ μεταλλικῆν ἀκίδα διαμορφουμένου, διαβιβαζομένων ἠλεκτρονίων.

Τὸ κατωτέρω σχεδιάγραμμα τοῦ μετρητοῦ Rutherford-Geiger, προωρισμένου διὰ τὴν ἀριθμῆσιν τῶν ἀκτίνων  $\alpha$ , ἐπεξηγεῖ τὴν χρησιμοποιήσιν αὐτοῦ.



Σχ. 1

Μετρητὴς δι' ἀκίδος Rutherford-Geiger.

Διὰ τοῦ σωλῆνος  $\Sigma$  ἐξ ὀρειχάλκου, μήκους δύο ἑκατοστῶν, διέρχεται λεπτὸν μεταλλικὸν σύρμα  $A$  ἀπολήγον εἰς ἠλεκτρόμετρον. Διὰ λεπτῆς διόδου  $\Delta$  διέρχονται αἱ ἀκτίνες  $\alpha$  παραλλήλως πρὸς τὴν ἀκίδα  $A$  καὶ ἐξιονίζουν τὸν προηγουμένως ἀραιωθέντα ἀέρα τοῦ σωλῆνος. Οὗτος πάλιν εὐρίσκεται συνδεδεμένος μὲ τὸν ἀρνητικὸν πόλον ἠλεκτρικῆς συστοιχίας 1000 βόλτ καὶ ἀναπτύσσει περὶ τὴν ἀκίδα ἰσχυρότατον ἠλεκτρικὸν πεδίου, πρὸς τὸ ὅποιον προσκρούοντα τὰ σχηματιζόμενα ἰόντα αὐξάνουν μέχρι τοῦ χιλιαπλασίου καὶ δεκάκις χιλιαπλασίου καὶ σημειοῦνται ἐκάστοτε δι' αὐτομάτως λειτουργούσης συσκευῆς ἠλεκτρομετρικῆς.

Σπανιωτέρα εἶνε ἡ χρῆσις τοῦ σπινθηροσκοπίου. Ἡ ἐκλογὴ τῆς συσκευῆς ἐξαρτᾶται ἐκάστοτε ἐκ τοῦ σκοποῦμένου. Διὰ τὸν προσδιορισμὸν λ.χ. τῆς ἰσοζυγίας τῶν ἐνεργειῶν προτιμᾶται ὁ θάλαμος Wilson, διὰ τοῦ ὁποίου δύνανται νὰ ληφθοῦν καὶ στερεοσκοπικὰ φωτογραφήματα ἐξ ὧν τεκμαίρεται ἡ ἐνέργεια τῶν βλημάτων διὰ τῆς ἐν τῷ χώρῳ διαγραφῆς τῶν τροχιῶν τῶν σωματίων (σχ. 2).

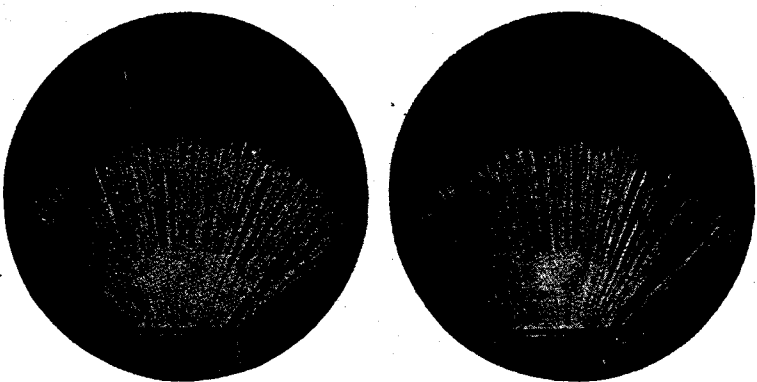
Ὅσον ἀφορᾷ τὰ νετρόνια, τὰ ὁποῖα οὔτε φορτίον φέρουν, οὔτε σχεδὸν καὶ ἐξιονίζουν, ἡ μελέτη αὐτῶν στηρίζεται ἐπὶ τοῦ γεγονότος ὅτι ἐκσφενδονιζόμενα κατὰ διαφόρων σωματῶν διεγείρουν δευτερογενεῖς ἀκτίνες, λ.χ. πρωτόνια (ὡς ὅταν προσβάλλουν τὴν παραφίνην), τῶν ὁποίων παρακολοθεῖται ἡ πορεία.

Διὰ τῶν διαφόρων τούτων μέσων ἐρευνᾶται ἡ μᾶζα, τὸ φορτίον καὶ ἡ ἐνέργεια τῶν διαφόρων σωματίων.

#### 5. Ἐνσωμάτωσις φορτίων ἐν τῷ πυρῆνι.

Εἰς τὰ ἀκτινεργά, ὅσα ἐξακοντίζουν ἀκτίνες  $\alpha$ —καὶ εἶνε τὰ πλεῖστα—οἱ πυρῆνες σχάζονται κατὰ τὴν μεταστοιχειώσιν τῶν εἰς δύο νέους πυρῆνας, ὧν ὁ ἕτερος εἶνε ἠλιόνιον.

Αντιθέτως έπιστοποιήθη ότι και το αντίστροφο δύναται να συμβή: Ηλιόνιον έξακοντιζόμενον κατά πυρήνος, να ένσωματωθῆ έν αυτό κατά σχηματίση πυρήνα βαρύτερον, μεγαλύτερου ατομικού αριθμού. Ός έξήχθη έκ των πειραμάτων του Rutherford κατά τον προσδιορισμόν των φορτίων του πυρήνος, και εις τον μικρόκοσμον του ατόμου ισχύει ό νόμος του Coulomb. Όταν δύο πυρήνες πλησιάσουν εις άποστάσεις κατωτέρας της διαμέτρου των ατόμων, ως είδομεν, άπωθούνται ισχυρώς. Η άπωσις αυτή μεταξύ δύο πυρήνων δύναται, εις βάρος ύπολογιζομένη, να ύπερβῆ ένα τόνον.



Σχ. 2. Στερεοσκοπική λήψις φωτογραφήματος έκ του θαλάμου Wilson (Φωτ. Meitner και Freitag). Πλην της δέσμης των ακτίνων α (έκ θορίου C+ C' παραγομένων), φαίνεται και ή τροχιά μιās ακτίνας έξαιρετικής έμβελείας.

όταν προσεγγίση πολύ. Τοιαύτα λ. χ. είνε τα μεγάλης έμβελείας ήλιόνια τα έκ του ThC έξαφενδονιζόμενα, τα όποια, όπως έδειξαν τα πειράματα του Rutherford, όταν προσεγγίσουν ίκανώς τον πυρήνα του U άπωθούνται.

Έν τούτοις όλίγα ήλιόνια α του πυρήνος του ούρανίου κατωτέρας έμβελείας των έκ του ThC, προνομιούχα ούτως είπειν, κατορθώνουν να ύπερπηδίσουν τον δυναμικόν φραγμόν και ό πυρήν του U, εις τον όποιον ταύτα άνήκουν, διασπάται και το ούράνιον μεταστοιχειοται και άκτινοβολεί.

Επίσης συμβαίνει και το αντίθετον. Σωματία ηλεκτρισμένα με δυναμικόν ένιστε κατώτερον των ακτίνων α του ραδίου, έξαφενδονιζόμενα κατά πυρήνων έλαφρών ίδίως στοιχείων, ύπερπηδούν τον φραγμόν αυτόν και ένσωματούμενα εις τους πυρήνας προκαλούν τηχηντώς μεταστοιχειώσεις.

Την έξήγησιν του φαινομένου έδωσαν οι Gamow και Condon και ό Gurneg τῷ 1927, εϋθύς μετά την ανάπτυξιν της κυματομηχανικής.

Έννοείται ότι δι' άποστάσεις της ακτίνας του πυρήνος οϋ μόνον ό νόμος του Coulomb δέν ισχύει, άλλ' άντι ώσεως ύφίστανται τα θετικά φορτία μεταξύ των ισχυροτάτην έλξιν, άλλως δέν θα ήδύνατο λ. χ. έν σωματίον α να εύρίσκειται καν χρόνον τινά έν τῷ πυρήνι.

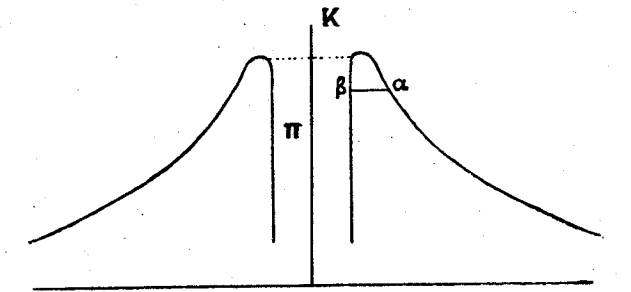
Τό φαινόμενον δύναται να παρασταθῆ διὰ του σχήματος 3, παριστώντος τό δυναμι-

Έκ των πειραμάτων του Rutherford γνωρίζομεν ότι και μέχρι έτι των ατομικών διαστάσεων  $3 \times 10^{-12}$  έκ. ισχύει ό νόμος του Coulomb, καθ' όν αι έλξεις και αι άπώσεις των ήλεκτρικών φορτίων είνε ανάλογοι του γινομένου των φορτίων και άντιστρόφως ανάλογοι του τετραγώνου της άποστάσεως αϋτών:  $E = \frac{E_1 \cdot E_2}{r^2}$

Έντεϋθεν ίνα ήλεκτρικώς φορτισμένα σωματία άποσπασθουν έξ ενός πυρήνος και εισδύσουν εις άλλον πρέπει να έχουν ύψηλότερον δυναμικόν του ύπό του νόμου του Coulomb ως άνω ύπολογιζομένου διὰ πάσαν μεταστοιχειώσιν. Ίνα λ. χ. έν ήλιόνιον α δυνηθῆ να εισδύση εις τον πυρήνα άλλου στοιχείου, φορτίου, ήτοι ατομικού αριθμού, Z πρέπει —διὰ την αϋτήν άπόστασιν ρ— να έχη ίσον τουλάχιστον δυναμικόν προς τον τιθέμενον φραγμόν  $Ze \cdot 2e$ , έπομένως εύκολώτερον, με μικρότερον δυναμικόν εις στοιχεΐα μικρών ατομικών αριθμών, και πάντως της τάξεως του δυναμικου των ακτίνων α.

Παρά ταύτα τόσο η φυσική μεταστοιχειώσις των άκτινεργών ήσον εις πολλάς περιπτώσεις και ή τεχηνητή, άποδεικνύουν ότι ό νόμος οϋτος της κλασσικής ήλεκτροδυναμικής δεικνύει έξαιρέσεις και ότι ώρισμένα σωματία μικροτέρας ένεργείας ύπερπηδώνσι τον φραγμόν τουτον του Coulomb.

Άς έξετάσωμεν επί παραδείγματι την περίπτωση της άκτινεργείας του ούρανίου. Ίνα έν ήλιόνιον άποσπασθῆ έκ του πυρήνος αϋτου πρέπει προφανώς να έχη δυναμικόν άνωτερον παντός άλλου ήλιονίου, όπερ φερόμενον κατά του πυρήνος του ούρανίου άπωθείται ύπ' αϋτοϋ



Σχ. 3. Δυναμικόν φράγμα.

κόν φράγμα, τό όποιον κατά την κλασσικήν φυσικήν είνε άδιαπέραστον από τα έξω τούτου σωματία α, όν ή δυναμική ένεργεια είνε κατω-

τέρα της τῶν ἐντὸς τοῦ φράγματος σωματίων.

Εἰς τὸ σχῆμα τοῦτο ἡ τετμημένη παριστᾷ τὴν ἀπόστασιν τῶν δύο πυρήνων, τοῦ βάλλοντος καὶ τοῦ βαλλομένου. Ἡ τεταγμένη παριστᾷ τὴν δυναμικὴν ἐνέργειαν. Ἐστὼ ἐν βλήμα σωματίων α δυναμικοῦ α, βαλλόμενον κατὰ τοῦ πυρήνος στοιχείου τινὸς τοῦ ὁποίου τὰ συστατικά εὐρίσκονται εἰς ἀνάσιν κίνησιν δονούμενα ἐντὸς τοῦ ὑπὸ τοῦ φράγματος περικλειομένου χώρου, καὶ ἔχουν δυναμικὸν β. Ἴνα τὸ σωματίδιον α δυνηθῇ νὰ εἰσδύσῃ ἐντὸς τοῦ χώρου τούτου πρέπει νὰ ἀυξηθῇ ἡ ἐνέργεια αὐτοῦ μέχρι τοῦ κριτικοῦ σημείου K καὶ ὑπερπηδῆσῃ τὸ φράγμα.

Δὲν συμβαίνει ὅμως οὕτω· ὑπάρχει πιθανότης τὸ σωματίδιον α νὰ ὑπερπηδῆσῃ τὸ φράγμα καὶ ὑπὸ τοὺς ὄρους τούτους· πιθανότης τοσοῦτον μεγαλύτερα ὅσῳ ἡ διαφορά τῆς δυναμικῆς αὐτοῦ ἐνεργείας ἀπὸ τὴν ἀπαιτούμενην ἵνα ἀνέλθῃ αὐτὴ μέχρι τοῦ κριτικοῦ σημείου K, ἥτοι ἡ ἀπόστασις αK, εἶνε μικροτέρα. Καὶ τὴν πιθανότητα ταύτην μᾶς δίδει ἡ κυματομηχανικὴ. Δι' αὐτῆς εἰς ἀμφοτέρας τὰς καταστάσεις τοῦ α ἐντὸς ἢ ἐκτὸς τοῦ πυρήνος δὲν ὀρίζομεν ὀρισμένον τρόπον ἀλλὰ, διὰ μιᾶς κυματοσυναρτήσεως, τὴν πιθανότητα τῆς ἀπὸ τοῦ ἐνὸς τύπου εἰς τὸν ἄλλον μετατοπίσεως αὐτοῦ, εἴτε ἐνσωματώσεως εἰς τὸν πυρήνα ἢ ἐκσφενδονίσεως ἐκτὸς αὐτοῦ.

Ὡς ἔδειξεν ὁ Gamow, ἡ πιθανότης αὐτὴ εἶνε ἡ καθορίζουσα τὴν μέσιν ζωὴν τοῦ ἀκτινεργοῦ στοιχείου ἢ, ὅπερ τὸ αὐτό, τὴν ταχύτητα (λ) τῆς ἀτομικῆς ἀποσυνθέσεως. Οὕτω τῇ βοηθείᾳ τῆς κυματομηχανικῆς ἐξευρέθη λύσις τοῦ γρίφου τῆς καθ' ὀρισμένην κλίμακα, ἀνεξάρτητον θερμοκρασίας κ.λ., ἀτομικῆς ἀποσυνθέσεως τῶν ἀκτινεργῶν στοιχείων.

Ὁ Bohr (1936) στηριζόμενος κυρίως ἐπὶ τοῦ γεγονότος ὅτι ὁ χρόνος τῆς ἐν τῷ πυρῆνι παραμονῆς τοῦ βλήματος (νετρονίου) εἶνε πολὺ μεγαλύτερος τοῦ χρόνου τὸν ὁποῖον χρειάζεται τὸ νετρόνιον διὰ νὰ διασχίσῃ τὸν πλάσμα τὸν ὁποῖον καταλαμβάνει ὁ πυρῆν, συνάγει ὅτι κατὰ τὴν σύγκρουσιν ἐνὸς νετρονίου καὶ βαρέος πυρήνος ἡ ἐνέργεια τοῦ νετρονίου διανέμεται ταχέως ἐπὶ ὅλου τοῦ πυρήνος καὶ σχηματίζεται ἐν ἐνδιάμεσον σύστημα εὐσταθές. Τοῦτο ἀποτελεῖ τὴν πρώτην φάσιν. Ἡ δευτέρα φάσις εἶνε ἡ ἐκπομπὴ τοῦ σωματίου ἢ μετάπτωσις εἰς ἄλλο εὐσταθές σύστημα δι' ἐκπομπῆς ἀκτινοβολίας γ. Κατὰ τὴν φάσιν ταύτην, πολυπλοκωτέραν πολὺ, ἐνέργεια τυχαίως πάλιν συγκεντροῦται εἰς τὸ σημεῖον τῆς ἐπιφανείας τοῦ πυρήνος.

## 6. Τεχνητὴ μεταστοιχειώσις.

Ὅπως εἰς τὴν αὐτόματον ἀκτινεργίαν, οὕτω τῇ βοηθείᾳ τῆς κυματομηχανικῆς ἐξηγεῖται καὶ ἡ ἐπίτευξις μεταστοιχειώσεως τεχνητῆς διὰ βλημάτων μικροτέρας ἐνεργείας, ἐνίοτε μάλιστα

σημαντικῶς μικροτέρας, τῆς ἐνδοατομικῆς τῶν συστατικῶν τοῦ πυρήνος.

Οὕτω ὁ Rutherford, χρησιμοποιοῦντας διαυλικὰς ἀκτῖνας ἐπιταχυνθείσας ἢ πρωτόνια ἐπιταχυνθέντα καθ' ὃν τρόπον περιεγράψαμεν μέχρι 100.000-200.000 βόλτ (1932), ἐπέτυχεν δι' αὐτῶν μεταστοιχειώσεις ἐπὶ τοῦ Li καὶ τοῦ B. Ἡ μεταστοιχειώσις αὕτη δι' ἧς ἐξ ἐνὸς ἀτόμου Li καὶ ἐνσωματώσεως ἐνὸς πρωτονίου παράγονται δύο ἄτομα ἡλίου (σχ. 4) δύναται νὰ παρασταθῇ διὰ



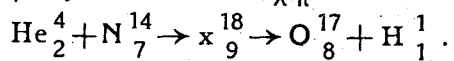
Σχ. 4.

Διάσπασις τοῦ Li διὰ πρωτονίων εἰς δύο πυρήνας ἡλίου ἐν τῷ θαλάμῳ τοῦ Wilson.

τοῦ ἀκολουθοῦ τύπου. Εἰς τὸν τύπον αὐτὸν καὶ τοὺς ἀκολουθοῦς σχετικὸς πρὸς μεταστοιχειώσεις, παρὰ τὸ σύμβολον τοῦ οἰκείου στοιχείου παρατίθεται τὸ ἀτομικὸν βάρος (ἄνω) καὶ ὁ ἀτομικὸς ἀριθμὸς αὐτοῦ (κάτω):



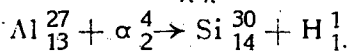
Αἱ τὸ πρῶτον ἐπὶ ἐλαφρῶν στοιχείων διὰ βομβαρδισμό αὐτῶν ὑπὸ ἀκτῖνων α ἐπιτευχθεῖσαι ὑπὸ τοῦ Rutherford μεταστοιχειώσεις, ἐξηγοῦνται ἐπίσης διὰ τῆς ἐνσωματώσεως τοῦ ἡλίου (α) εἰς τὸν πυρῆνα τοῦ ἀτόμου τοῦ μεταστοιχειουμένου στοιχείου. Οὕτω κατὰ τὴν προσβολὴν τοῦ N διὰ τῶν ἀκτῖνων α παρατηρεῖται ἐν τῷ θαλάμῳ Wilson τριπλῆ καμπύλη τῆς διαδρομῆς αὐτῶν· τὸ ἐν σκέλος αὐτῆς ἀντάποκρίνεται πρὸς τὴν βάλλουσαν ἀκτῖνα α, τὸ δεύτερον πρὸς τὸν βαλλόμενον πυρῆνα καὶ τὸ τρίτον, τὸ καὶ πολὺ μακρότερον, πρὸς τὸ ἐκσπώμενον ἐκ τούτου ἠλεκτρόνιον. Ἡ γραμμὴ τῆς ἀκτῖνος α δὲν προχωρεῖ πέραν τοῦ πυρήνος τοῦ στοιχείου· ἡ ἐξήγησις ἐπομένως τοῦ φαινομένου εἶνε ἡ ἑξῆς: Ἡ ἀκτὶς α συσσωματοῦται πρὸς τὸν πυρῆνα. Νέος πυρῆν σχηματίζεται κατὰ τέσσαρας μονάδας—τὸ ἀτομ. βάρος τοῦ ἡλίου—μείζονος ἀτομικοῦ βάρους στοιχείου ἀσταθοῦς ἐξ οὗ σχηματίζεται νέον σταθερὸν στοιχείον—ἐνταῦθα ἰσοτόπον τοῦ δευτέρου, ἀτομικοῦ βάρους 17—κατὰ τὸ σχῆμα:



Ἡ ταυτότης τοῦ ὑδρογόνου—διότι ἠδύνατο νὰ ὑποτεθῆ διῖ ἡ διαγραφομένη τροχιά αὐτοῦ ἀνήκει εἰς ἀκτίνες α — βεβαιούται ἐκ τῆς μεγαλυτέρας ἐμβελείας τοῦ σωματίου, ὅπερ ἀκτινοβολεῖται. Αἱ μὴ συσσωματωθεῖσαι πολυπληθέσταται ἀκτίνες α σταματῶσι εἰς πολὺ μικροτέραν ἀπόστασιν.

Διὰ προσβολῆς ὑπὸ ἀκτίνων γ λίαν σκληρῶν παρετηρήθη ἐπίσης (Chadwick) ἡ ἔκσπασις νετρονίων ἐκ τοῦ πυρῆνος τοῦ Η καὶ τοῦ Li

Ἔτερον παράδειγμα μεταστοιχειώσεως διὰ σωματίων α μεγάλης ἐνεργείας ἀναφέρομεν τὴν δι' αὐτῶν μεταστοιχειώσιν τοῦ ΑΙ εἰς πυρίτιον καὶ πρωτόνια κατὰ τὸ σχῆμα :



Σχ. 5.

Εἰς τὸ ἀνωτέρω φωτογράφημα τοῦ θαλάμου Wilson (σχ.5) παρίσταται ἡ τοιαύτη μεταστοιχειώσις διὰ σωματίων Ρο-α. Ταῦτα εὐρίσκονται ἐντὸς κυλίνδρου τοῦ ὁποίου τὸ ἔμπροσθεν ἡμίσι ἀποτελεῖται ἐκ φύλλου ΑΙ ἄρκετοῦ πάχους ὥστε νὰ μὴ διαπερᾶται ὑπὸ τῶν βαλλομένων ἀκτίνων α, οὕτως ὥστε μόνον πρωτόνια ἐμφανίζονται ἐν τῷ θαλάμῳ, καὶ δὴ διαφόρου ἐνεργείας καὶ ἐπομένως ἐμβελείας. Διακρίνομεν τρεῖς ὁμάδας τοιούτων : μίαν πτωχῆς ἐνεργείας μὲ βραχεῖας πολὺ τροχιάς, μίαν μέσης ἐνεργείας καὶ τρίτην μεγάλης ἐνεργείας καὶ διαδρομῆς.

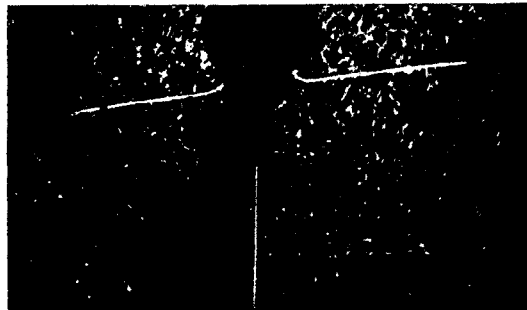
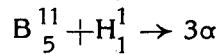
Ἀνάλογα συμβαίνουν καὶ κατὰ τὰς μεταστοιχειώσεις δι' ἄλλων ὑλικῶν μονάδων.

### 7. Μεταστοιχειώσεις διὰ πρωτονίων.

Ὡς τοιαύτην ἀνεφέραμεν ἤδη τὴν μεταστοι-

χειώσιν ἑνὸς ἀτόμου Li εἰς δύο He (βλ. σχ. 4).

Γενικῶς διὰ βομβαρδισμοῦ διὰ πρωτονίων παράγονται ἄτομα ἡλίου, ὡς λ.χ. κατὰ τὴν προσβολὴν Β διὰ Η<sup>1</sup><sub>1</sub>, ὅτε ἐξ ἑνὸς ἀτόμου βορίου παράγονται τρία ἡλίου :



Σχ. 6.

Διάσπασις τοῦ Β διὰ πρωτονίων εἰς τρία ἡλιόνια. Λήψις διὰ τοῦ θαλάμου Wilson.

Τοῦτο συμβαίνει λόγῳ τῆς λίαν ἐξωθέρμου, ὡς εἶδομεν, ἀντιδράσεως κατὰ τὴν σύμπτυσιν τεσσάρων πρωτονίων πρὸς σχηματισμὸν ἑνὸς ἀτόμου ἡλίου.

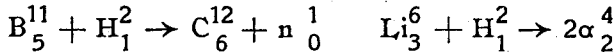
Ὁ Gamow ἐξηγεῖ ἐκ τούτου τὸ γεγονός, ὅτι τὰ στοιχεῖα μὲ ἄρτιον ἀτομικὸν ἀριθμὸν καὶ ἄρτιον ἀτομικὸν βᾶρος ἀπαντῶνται πολὺ συνηθέστερον.

### 8. Μεταστοιχειώσεις διὰ δευτονίων.

Διὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῶν δευτονίων, μονάδων διπλασίας μάζης τῶν πρωτονίων καὶ τοῦ αὐτοῦ φορτίου Η<sup>2</sup><sub>1</sub> (ἢ D<sup>2</sup><sub>1</sub>) μὲ πολλὴν ἐπιτυχίαν ἐχρησιμοποιήθη ὑπὸ πολλῶν Ἀμερικανῶν κυρίως καὶ τελευταίως τοῦ Rutherford καὶ τῆς σχολῆς του, μεγάλη ἐπιτάχυνσις δι' ἐφαρμογῆς τοῦ περιγραφέντος προηγουμένως μηχανήματος Lawrence.

Διὰ ρεύματος δευτονίων, εἰς τὸ ὅποιον προσδίδεται ἐνέργεια ἀνερχομένη εἰς ἕν ἑκατομμύριον Ve (MVe), ἐπετεύχθησαν μεταστοιχειώσεις ἐπὶ πλείστων ἐλαφρῶν στοιχείων σημαντικώτεροι πολὺ ἢ διὰ τῶν σωματίων α. Καὶ τοῦτο καθ' ὅσον δυνάμεθα οὕτω νὰ παραγάγωμεν ἀριθμὸν βλημάτων πολὺ μεγαλύτερον διὰ τεχνητῆς ὁδοῦ. Οὐχ ἦττον ἡ ποσότης τῆς οὕτω μεταστοιχειουμένης ὕλης εἶνε τόσον ἐλαχίστη, ὥστε δι' οὐδεμιᾶς χημικῆς μεθόδου εἶνε δυνατόν νὰ ἐξακριβωθῆ — πλὴν, ὡς θὰ ἴδωμεν κατωτέρω, εἰς περιπτώσεις μεταστοιχειώσεως εἰς ἀκτινεργὰ τινα ἄτομα—οὕτως ὥστε μόνον ἐπὶ τῇ βάσει θεωρητικῶν δεδομένων καὶ τοῦ φωτογραφήματος τῶν τροχιῶν δυνάμεθα νὰ εἰκάζωμεν τὸ εἶδος τοῦ παραχθέντος στοιχείου.

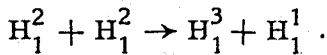
Ὡς παραδείγματα ἀναφέρονται τὰς κατωτέρω μεταστοιχειώσεις :



ἐνῶ συγχρόνως παρατηρεῖται καὶ ἡ μεταστοιχειώσεις :

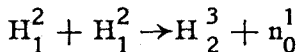


Ἰδιαίτερον ἐνδιαφέρον ἐνέχει ἡ μεταστοιχειώσεις αὐτῶν τῶν δευτονίων προσβαλλομένων δι' ἐπιταχυνθέντων δευτονίων κατὰ τὸ σχῆμα :



Τοῦ νέου οὕτω παραχθέντος ἰσοτόπου τοῦ ὕδρογόνου μὲ ἀτομικὸν βάρους 3 ἢ ὑπαρξίς ἐββαιώθη τελευταίως διὰ τοῦ φασματογράφου μαζῶν κατὰ τὰς ἠλεκτρικὰς ἐκκενώσεις εἰς σωληνάς ὕδρογόνου.

Σημειωτέον ὅτι συγχρόνως ἡ ἄνω μεταστοιχειώσεις συμβαίνει καὶ κατὰ τὸ ἀκόλουθον σχῆμα :



καθ' ἣν παράγεται μέγας ἀριθμὸς νετρονίων.

### 9. Μεταστοιχειώσεις διὰ νετρονίων.

Ὡς ἐκ τῆς μεγάλης τῶν νετρονίων διεισδυτικότητος προεβλέπετο μεγάλη πιθανότης τῆς δι' αὐτῶν μεταστοιχειώσεως ἀτόμων. Δυνάμεθα νὰ ἔχωμεν καὶ νετρόνια μεγάλης ἐνεργείας. Τοιαῦτα, ὡς εἶδομεν, παράγονται ἐνεργείας  $16 \cdot 10^6$  Ve διὰ βομβαρδισμοῦ τοῦ Be ὑπὸ ἀκτίνων α προερχομένων ἀπὸ ThC'. Διὰ τοῦ βομβαρδισμοῦ Be ἢ B ὑπὸ ἀκτίνων α τοῦ Po ἢ καὶ Rn λαμβάνονται νετρόνια εἰς πολὺ μεγαλύτερον ποσὸν (ἐκατονταπλάσιον ἢ διὰ πολλῶν ἄλλων στοιχείων). Ἐπίσης καὶ διὰ τοῦ βομβαρδισμοῦ F ἢ Al.

Τὰ νετρόνια, ὡς μὴ φέροντα ἠλεκτρικὸν φορτίον, δὲν ὑφίστανται ὅταν πλησιάσουν εἰς τὸν πυρῆνα τὴν ἰσχυρὰν ἄπωσιν τῶν ἠλεκτρισμένων θετικῶν ἠλιονίων, πρωτονίων ἢ δευτονίων καὶ ἐπομένως εἶνε εὐκολώτερον νὰ συσσωματωθῶσιν ἐν αὐτῷ. Διὰ τοῦτο εὐρέως ἐχρησιμοποιήθησαν διὰ τὴν μεταστοιχειώσιν βαρέων ἀτόμων μέχρι καὶ τοῦ οὐρανίου, ἰδίως ὑπὸ τοῦ Fermi καὶ τῶν συνεργατῶν αὐτοῦ.

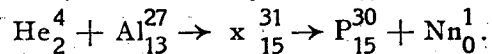
Ἐπὶ τινῶν ἐρευνητῶν παρετηρήθη τελευταίως (Fermi, Chadwick) ὅτι προκειμένου περὶ ἐλαφρῶν στοιχείων (Li, B κ.λ.), ἐνῶ μὲ ταχέως μεγάλη ἐνεργεία νετρόνια οὐδὲν εἶχον ἐπ' αὐτῶν ἀποτέλεσμα, ἐπετεύχθη μεταστοιχειώσεις μὲ μικροτέρας ἐνεργείας τοιαῦτα. Φαίνεται ὅτι εἰς ὁμοίας περιστάσεις ὑφίστανται ταῦτα ἔξιν ὑπὸ τοῦ πυρῆνος.

Συμβαίνει ἐπίσης διὰ προσβολῆς καὶ ἐνσωματώσεως νετρονίων ἐντὸς πυρῆνος νὰ παράγονται ἀκτίνες γ. Εἰς τὴν περίστασιν ταύτην ἡ κινητικὴ ἐνέργεια τῶν νετρονίων μεταβάλλεται εἰς φῶς.

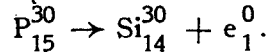
### 10. Μεταστοιχειώσεις ἀτόμων εἰς ἀκτινεργά.

Οἱ Curie καὶ Joliot, ἐκτὸς τῶν ἀναφερθέντων πειραμάτων διὰ προσβολῆς τῶν ἀκτίνων Po-α ἐπὶ ἐλαφρῶν στοιχείων καὶ παραγωγῆς πλὴν τῶν φωτονίων καὶ νετρονίων, παρετήρησαν καὶ νέον ἐξαιρετικὸν ἐνδιαφέροντος φαινόμενον. Στοιχεῖα τοιαῦτα ὡς τὸ B, τὸ Al, τὸ Mg, προσβαλλόμενα διὰ τῶν εἰρημένων ἀκτίνων, ἐξακολουθοῦν καὶ μετὰ τὴν ἀφαίρεσιν τῆς βαλλούσης πηγῆς ἀκτινοβολοῦντα, καὶ δὴ θετικὰ ἠλεκτρόνια, ὅπως καὶ τὰ ἀκτινεργὰ στοιχεῖα. Ἡ ἡμιπερίοδος τῆς ζωῆς διὰ τὸ B ἦτο 14', διὰ τὸ Al 3' 15'' καὶ διὰ τὸ Mg 2' - 3'.

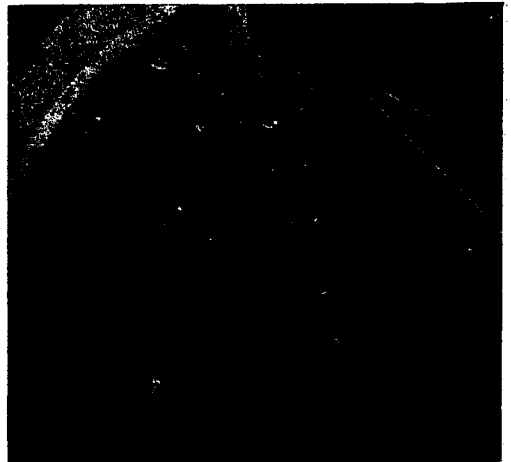
Ἡ οὕτω προκαλουμένη ἀκτινεργία ἐξηγεῖται διὰ τῆς ἀκολουθοῦ μεταστοιχειώσεως :



Κατὰ τὴν πρώτην φάσιν σχηματίζεται ἐν νετρόνιον καὶ ἄτομον ἰσότοπον τοῦ φωσφόρου, τὸ ὁποῖον ἀμέσως (δευτέρα φάσις) ἀκτινοβολοῦν ἐν θετικὸν ἠλεκτρόνιον καταλήγει εἰς ἰσότοπον τοῦ πυριτίου. Κατὰ τὴν διάσπασιν ταύτην τὸ ἀτομικὸν βάρους τοῦ στοιχείου παραμένει τὸ αὐτό, ἐλαττοῦται δὲ μόνον ὁ ἀτομικὸς ἀριθμὸς κατὰ μονάδα :



Θεμελιώδης διαφορὰ ἀπὸ τῆς ἀκτινοβολίας τῶν γνωστῶν ἀκτινεργῶν στοιχείων εἶνε ὅτι δὲν ἀκτινοβολοῦνται ἀρνητικὰ ἠλεκτρόνια (β) ἀλλὰ συνήθως θετικὰ.

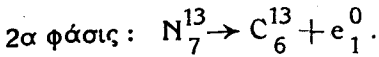
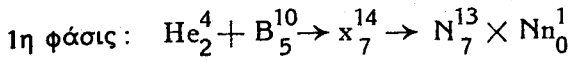


Σχ. 7.

Διάσπασις ἀργιλίου δι' ἀκτίνων α με παραγωγήν πρωτονίων.

Εἰς τὸ σχῆμα ἐμφαίνονται αἱ τροχιαὶ τῶν πρωτονίων, ὡς καὶ τὰ κατὰ τὴν ἄνω ἀντίδρασιν παραγόμενα θετικὰ ἠλεκτρόνια. Τὰ ἐπίσης ἐμφανιζόμενα ἀρνητικὰ ἠλεκτρόνια προέρχονται ἐκ τῶν ἀκτίνων γ.

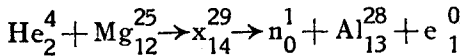
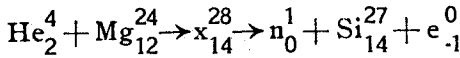
Κατὰ τὸν αὐτὸν τρόπον ἡ ἀκτινεργία τοῦ B συμβαίνει κατὰ τὸ ἀκόλουθον σχῆμα :



Ὅτι ὄντως παράγεται ἄζωτον ἰσότοπον — ὕπερ ὡς γνωστὸν ἔχει τὰς αὐτὰς χημικὰς ἰδιότη-  
τας πρὸς τὸ σύννηθεσ ἄζωτον — τὸ ἀπέδειξαν ὡς  
ἐξῆς: τὸ βληθὲν βόριον παρέλαβον διὰ καυστι-  
κοῦ νατρίου ἐσχηματίσθη ἀέριος ἀμμωνία ἥτις  
καὶ παρέλαβε τὴν ὄλην ἀκτινεργίαν. Τὸ ἰσότο-  
πον τοῦτο  $N_7^{13}$  ὠνόμασαν ραδιάζωτον.

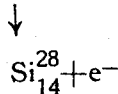
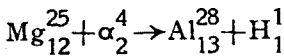
Ὁμοίως εἰς τὸ Al παράγεται ἀνάλογος ρα-  
διοφωσφόρος  $P_{15}^{30}$ . Ἡ ὑπαρξις αὐτοῦ ἐπιστοποι-  
ήθη κατ' ἀνάλογον τρόπον, δι' ἐπιδράσεως ὑδρο-  
χλωρικοῦ ὀξέος καὶ σχηματισμοῦ ἀερίου ( $PH_3$ ),  
ὕπερ παρέσυρε τὴν ὄλην ἀκτινεργίαν. Κατ' ἀν-  
τίθεσιν πρὸς τὰ ἀνωτέρω διὰ βομβαρδισμοῦ τοῦ  
Mg διὰ τῶν αὐτῶν ἀκτίνων α παράγονται ρα-  
διενεργὰ στοιχεῖα ἅτινα ἀκτινοβολοῦν συγchrό-  
νως καὶ θετικὰ καὶ ἀρνητικὰ ἠλεκτρόνια. Τοῦτο  
ἐξηγεῖται ἐκ τοῦ ὅτι τὸ ἐν παράγεται ἐκ τοῦ

$Mg_{12}^{25}$ :



Οὕτω διὰ πρώτην φοράν ἀνεκαλύφθησαν,  
καὶ χημικῶς διεπιστώθη ἡ παρασκευὴ τῶν, νέα  
ἰσότοπα ἀκτινεργὰ στοιχεῖα τεχνητῶς παρα-  
σκευαζόμενα, μὴ ὑπάρχοντα ἐν τῇ φύσει, καθ'  
ὅσον τὰ ἰσότοπα τὰ παραγόμενα ἐκ τῶν γνω-  
στῶν ἀκτινεργῶν στοιχείων, ἔλκουν τὴν πηγὴν  
αὐτῶν ἐκ τοῦ οὐρανίου καὶ τοῦ θορίου.

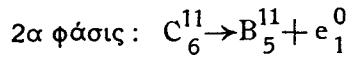
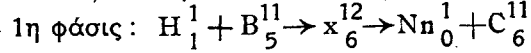
Ὡς ἐνδιαφέρουσιν μεταστοιχείωσιν ἀναφέ-  
ρομεν καὶ τὴν ἀκόλουθον (Curie-Joliot):



Τούτέστι κατ' ἀρχάς, κατὰ τὴν πρώτην φά-  
σιν, ἐνσωματοῦται ἐν σωματίον α καὶ παράγε-  
ται κατὰ τὰ γνωστὰ ἐν ἄτομον μείζονος κατὰ  
μονάδα ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ, Al ἀκτινεργὸν καὶ  
μὲ μείζον ἀτομικὸν βάρος (28 ἀντὶ 27). Τοῦτο  
πάλιν ὑπὸ ἐκπομπὴν ἀκτίνων β ( $e^-$ ) μεταβάλλε-  
ται εἰς τὸ σταθερὸν στοιχεῖον Si, αὐξάνον-  
τος κατὰ τὸν γνωστὸν κανόνα τοῦ Fajans, ὡς  
ἐκ τῆς ἐκπομπῆς ἀκτίνων β, τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθ-  
μοῦ κατὰ μίαν ἀκόμη μονάδα.

Μετὰ τὴν ἐπιτυχίαν αὐτὴν ἐγένοντο πειρά-  
ματα πρὸς τοιαύτην μεταστοιχείωσιν διὰ πρω-  
τονίων καὶ δευτονίων ἰδίως, ἐπιταχυνομένων τε-  
χνητῶς.

Τοιαύτη ἐνδιαφέρουσα μεταστοιχείωσις (An-  
derson) διὰ πρωτονίων εἶνε ἡ ἀκόλουθος:



Κατὰ ταύτην ἐκ τοῦ βορίου παράγεται ρα-  
διάνθραξ ὅστις μετὰ ἀποβολὴν θετικῶν ἠλεκτρο-  
νίων ἀναπαράγει τὸ ἀρχικὸν βόριον. Ἐν τῷ  
συνόλῳ ἐν πρωτόνιον  $_1^1$  μετεβλήθη εἰς ἐν νετρό-  
νιον  $_0^1$  καὶ ἐν θετικὸν ἠλεκτρόνιον  $_1^0$ .

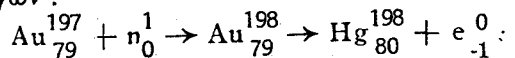
Περισσότεραι μεταστοιχείωσεις ἐπετεύχθη-  
σαν διὰ δευτονίων, ἰδιαιτέρως ὑπὸ τοῦ Lawrence  
καὶ τῶν συνεργατῶν του. Ἐσχάτως οὗτος  
(1935) διὰ βομβαρδισμοῦ νατρίου διὰ δευτονίων,  
εἰς τὰ ὁποῖα προσέδωσεν ἐνέργειαν  $2.10^6$  Ve,  
παρήγαγε ἀκτινεργὸν στοιχεῖον, τὸ ραδιονά-  
τριον, χημικῶς ὅμοιον καὶ παρουσάζον ἰσχυρὰν  
ἀκτινοβολίαν β καὶ γ. Ἡ ἡμιπερίοδος ζωῆς  
αὐτοῦ εἶνε  $15 \frac{1}{2}$  ὥραι, ἡ δὲ ἀκτινεργὸς του δύ-  
ναμις ἰσοῦται περίπου μὲ τὴν 1 χλστγρ. ραδίου.

Διὰ τῆς αὐξήσεως τοῦ δυναμικοῦ φαίνεται  
πιθανὴ οὕτω ἡ παρασκευὴ προϊόντος τεχνη-  
τοῦ δυναμένου ν' ἀντικαταστήσῃ εἰς τὰς θερα-  
πευτικὰς του ἐφαρμογὰς τὸ ράδιον. Ἡ ποσό-  
της τῶν οὕτω δημιουργουμένων τεχνητῶς ἀκτι-  
νεργῶν στοιχείων εἶνε ἐξόχως ἐλαχίστη βεβαί-  
ως, ἀλλ' ἡ ἔντασις τῆς ἀκτινεργίας πάντοτε  
λίαν ἀξιοσημείωτος.

Διὰ τῶν ἠλιονίων, πρωτονίων καὶ δευτο-  
νίων ἐπιταχυνθέντων κατωρθώθη ἡ μεταστοι-  
χείωσις ἐλαφρῶν στοιχείων εἰς τὰ βαρέα  
ἢ μέχρι τοῦ πυρῆνος διεϊσδυσις αὐτῶν κα-  
θίσταται δύσκολος ὡς ἐκ τῆς ἀπώσεως τῶν  
θετικῶς ἠλεκτρισμένων τούτων μονάδων λόγῳ  
τοῦ μεγάλου θετικοῦ φορτίου τῶν πυρῆνων  
τούτων. Τὰ νετρόνια, ἐστερημένα πυρῆνος καὶ  
ἐξόχως διεϊσδυτικά, δύνανται νὰ εἰσδύσουν εὐ-  
κολώτερον μέχρι τοῦ πυρῆνος. Τοῦτο διείδεν ὁ  
Fermi καὶ οἱ συνεργάται του, οἵτινες εἶχον ἐξαι-  
ρητικὴν ἐπιτυχίαν εἰς τὴν χρησιμοποίησιν τῶν  
νετρονίων διὰ τὴν μεταστοιχείωσιν βαρέων ἄ-  
τόμων.

Ὡς ἀκτινοβόλον πηγὴν ὁ Fermi μετεχειρί-  
σθη Be ἐμποτισμένον μὲ Rn, δι' οὗ ἐβομβαρδί-  
ζετο δι' ἀκτίνων α. Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην,  
ὡς εἶδομεν, τὸ βηρύλλιον καθίσταται πηγὴ  
νετρονίων. Οὕτω εἰς ὀγδοῆκοντα περίπου στοι-  
χεῖα ἐκ τῶν γνωστῶν ἐπετεύχθη ἡ μεταστοι-  
χείωσις.

Κατ' ἀντίθεσιν πρὸς ὅ,τι συμβαίνει εἰς τὰ  
ἐλαφρὰ στοιχεῖα, κατὰ τὴν μεταστοιχείωσιν τῶν  
βαρέων παρατηρεῖται παραγωγή ἀρνητικῶν  
ἠλεκτρονίων, ὁμοίως δηλαδὴ μὲ ὅ,τι συμβαίνει  
κατὰ τὴν αὐτόματον ἀποσύνθεσιν τῶν ἀκτι-  
νεργῶν:



Είς μεταστοιχειώσεις βαρέων μετάλλων παρετηρήθησαν καί διπλαῖ ἢ τριπλαῖ μεταστοιχειώσεις διά σχηματισμοῦ δύο ἢ πλειοτέρων στοιχείων με διάφορον ἡμιπερίοδον ζωῆς. Οὕτω λ.χ. ἐκ τοῦ U δι' ἐπιδράσεως νετρονίων παράγονται τέσσαρα ἀκτινεργά, ἀκτινοβολοῦντα ἀρνητικά ἠλεκτρόνια. Ἐκ τούτων τὰ δύο, τὰ με ἡμιπερίοδον ζωῆς 13' καί 90', ἠρευνήθησαν χημικῶς, δὲν εὐρέθη δὲ νὰ ὁμοιάζουν με οὐδὲν στοιχεῖον μεταξὺ Hg<sub>80</sub> καί U<sub>92</sub>. Διὰ τὸ πρῶτον ὑποστηρίζεται ὅτι εἶνε ἐκαρήνιον με ἀτ. ἀρ. 93, διὰ τὸ δεύτερον κατὰ τὸν Fermi ἰσότοπον αὐτοῦ, κατὰ νεωτέρας ἐρεῦνας στοιχεῖον ἀτ. ἀρ. 94. Αἱ ἔρευναι ἐπὶ τοῦ

ἐνδιαφέροντος αὐτοῦ σημείου ἐξακολουθοῦν, καί γενικῶς ἀπὸ τῆς ἀνακαλύψεως τῶν τεχνητῶς παραγομένων ἀκτινεργῶν καί τῶν νετρονίων ἀληθῆς πυρετὸς ἐρευνῶν ἐπὶ τῆς μεταστοιχειώσεως ἐξακολουθεῖ με λίαν ἐνδιαφέροντα νέα γεγονότα, χωρὶς ὅμως καί νὰ ἐπέλθῃ ἐπὶ τῆς ὀρθῆς ἐξηγήσεως ὁμοφωνία δι' ὅλα.

Κατὰ τὰς μεταστοιχειώσεις ταύτας δὲν μεταβάλλεται ὁ πυρὴν τοῦ ἀτόμου εἰς μόνιμον στοιχεῖον, ἀλλὰ συμβαίνει, ὡς εἰς τὰ ἀκτινεργά, ἔκρηξις τοῦ πυρῆνος προσβαλλομένου, ἥτις διαρκεῖ ἐπὶ τινα χρόνον, ἄλλοτε ἐλάχιστον καί ἄλλοτε μεγαλύτερον, καί παύει εἴτα ὀλοσχερῶς.