

Χημικά Χρονικά

Chimika Chronika

Τόμος 22 Α 'Αρ. 1

Γανουάριος 1957

Ἡ κατάταξις τῶν νέων στοιχείων εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα

Ὑπὸ Τρ. Καραντάση καὶ Π. Σακελλαριδῆ

Δὲν ἔχουν ἀκόμη παρέλθει ἑκατὸν ἔτη, ἀπὸ τῆς ἐποχῆς κατὰ τὴν ὁποίαν ὁ Μενδέλιεον ἑταξινόμησεν τὰ στοιχεῖα κατ' αὐξὸν ἀτομικὸν βάρους καὶ ὁ ἀριθμὸς τῶν γνωστῶν στοιχείων ὑπερέβη τὰ ἑκατὸν. Πράγματι ἐνῶ τὸ περιοδικὸν σύστημα τὸ ὁποῖον κατέστρωσε ὁ Μενδέλιεον τὸ 1869, περιελάμβανεν 63 στοιχεῖα, σήμερον ὅλα τὰ κενά, τὰ ὁποῖα ὑπῆρχον εἰς αὐτό, συνεπληρώθησαν, ὁ δὲ συνολικὸς ἀριθμὸς τῶν στοιχείων ἀνήλθεν εἰς 101.

Ἀπὸ τῆς ἐποχῆς τοῦ Μενδέλιεον μέχρι σήμερον τὸ περιοδικὸν σύστημα κατέστη ὁ καταστατικὸς χάρτης τῆς Χημείας καὶ ὑπῆρξεν θέμα διαρκοῦς ἐπικαιρότητας, ἢ σπουδαιότητος τοῦ ὁποίου θὰ παραμείνῃ ἢ αὐτῆ, καθ' ὅσον, ὅπως σήμερον, οὕτω καὶ εἰς τὸ μέλλον δσάκις πλουτίζομεν τὰς γνώσεις μας ἢ προσπαθοῦμεν νὰ ἐμβαθύνωμεν ἐπὶ τῶν φυσικοχημικῶν ιδιοτήτων τῶν στοιχείων θὰ ἀνατρέχωμεν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα, ἀφ' ἑνὸς μὲν, διὰ νὰ ἐλέγξωμεν τὴν ὀρθότητα τῶν νέων δεδομένων, ἀφ' ἑτέρου δέ, διὰ νὰ βοηθηθῶμεν εἰς τὴν ἐρμηνείαν αὐτῶν ἀπὸ τὴν ἄρμονίαν, ἢ ὁποία διέπει τὴν κατάταξιν τῶν στοιχείων εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα.

Κατὰ τὰ δέκα τελευταῖα ἔτη, λόγῳ τῆς ἀνακαλύψεως τῶν νέων στοιχείων με ἀτομικὸν ἀριθμὸν μεγαλύτερον ἐκείνου τοῦ Οὐράνιου, τὸ περιοδικὸν σύστημα παρουσίασεν σημαντικὸν ἐνδιαφέρον, καθ' ὅσον ἡ κατάταξις τῶν στοιχείων αὐτῶν ὑπῆρξε πρόβλημα δυσχερές, ἀποτελεῖ δὲ καὶ σήμερον ἀκόμη θέμα ἀντιθέτων ἀπόψεων. Ἐνῶ δηλαδὴ διὰ τὰ περισσότερα ἐκ τῶν 38 στοιχείων τὰ ὁποῖα ἀπὸ τοῦ 1869 ἀνεκαλύφθησαν ἢ μεμονομένως ἢ καθ' ὁμάδας (π. χ. εὐγενῆ ἀέρια, φυσικὰ ραδιενεργὰ στοιχεῖα ...), τὸ πρόβλημα τῆς κατατάξεως τῶν εἰς τὸ περιοδικὸν

σύστημα ὑπῆρξεν ἀπλοῦν καὶ ἀντιμετωπίσθη χωρὶς μεγάλας δυσκολίας, ἀντιθέτως, ἡ ταξινόμησις τῶν κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη ἀνακαλυφθέντων στοιχείων δὲν ὑπῆρξεν εὐχερῆς. Ἐκ τῶν στοιχείων αὐτῶν τὰ 4 δὲν ἐμφανίζουν διαφορὰς κατὰ τὰς γενικὰς τῶν ιδιοτήτων ἀπὸ τὰ ἄλλα στοιχεῖα τῶν ὁμάδων εἰς τὰς ὁποίας ἀνήκουν ἐὰν τοποθετηθοῦν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα βάσει τοῦ ἀτομικοῦ τῶν ἀριθμοῦ. Οὕτω τὸ Φράγκιον (Fr—87), τὸ ὁποῖον ἀνήκει εἰς τὴν ὁμάδα τῶν ἀλκαλίων, συμπεριφέρεται κατὰ τρόπον ἀνάλογον πρὸς τὰ ἄλλα ἀλκάλια. Τὸ Προμήθειον (Pm—61), τὸ ὁποῖον ἀνήκει εἰς τὴν ὁμάδα τῶν σπανίων γαιῶν ἔχει τελείως ἀναλόγους ιδιοτήτας με αὐτάς. Τὸ Τεχνητίον (Tc—44) παρουσιάζει ιδιοτήτας αἰ ὁποῖαι εἶναι ἀνάλογοι πρὸς τὰς ιδιοτήτας τῶν ὁμολόγων του, Μαγγανίου καὶ Ρηνίου. Τέλος τὸ Ἄστατον (At—85), τὸ ὁποῖον τοποθετεῖται εἰς τὴν ὁμάδα τῶν ἀλογόνων, συμπεριφέρεται γενικῶς ὡς τοιοῦτον καίτοι παρουσιάζει ἐντονον μεταλλικὸν χαρακτῆρα, ἀλλὰ καὶ τὸ ἰώδιον ὡς γνωστὸν εἰς ὄρισμένας περιπτώσεις συμπεριφέρεται ὡς μέταλλον. Κατὰ συνέπειαν, ἡ ταξινόμησις τῶν τεσσάρων αὐτῶν στοιχείων βάσει τῶν ιδιοτήτων τῶν, ἐπιβάλλει, τὴν τοποθέτησιν τῶν εἰς τὰς κενὰς θέσεις τοῦ περιοδικοῦ συστήματος τὰς ἀντιστοιχοῦσας εἰς τοὺς ἀτομικοὺς ἀριθμοὺς αὐτῶν.

Ἀντιθέτως, τὸ πρόβλημα τῆς κατατάξεως τῶν λοιπῶν νέων στοιχείων με ἀτομικὸν ἀριθμὸν 93—101, δὲν ὑπῆρξεν ἀπλοῦν. Μόνον δὲ ἡ κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη ἐπιτευχθεῖσα μελέτη τῶν χημικῶν κυρίως ιδιοτήτων τῶν στοιχείων αὐτῶν, ἐπέτρεψεν τὴν ἱκανοποιητικὴν προώθησιν τοῦ προβλήματος τῆς ἠλεκτρονικῆς τῶν δομῆς καὶ τῆς θέσεως τῶν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα, καίτοι ἐξακολουθοῦν καὶ μέχρι σήμε-

ρον να υπάρχουν σοβαρά αντίθεσις ως προς την ταξινομήσιν τῶν στοιχείων αὐτῶν.

Οὕτω πλείστα ὄσα πειραματικά δεδομένα δηγοῦν εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι εἰς τὴν περιοχὴν τῶν βαρέων αὐτῶν στοιχείων λαμβάνει χώραν προσθήκη ἠλεκτρονίων εἰς τὴν ὑποστιβάδα 5f καὶ οὖν περὶ τὸ τέλος τοῦ περιοδικοῦ συστήματος δημιουργεῖται μιὰ νέα ὁμάς στοιχείων μεταπτώσεως ἀνάλογος μετ' ἐκείνην τῶν σπανίων γαιῶν. Συμφώνως δὲ πρὸς τὰ ὑπάρχοντα δεδομένα ἡ ὁμάς αὕτη πρέπει νὰ ἀρχίζῃ ἀπὸ τὸ Ἄκτινίου (Ac—89) κατὰ τὸν ἴδιον τρόπον κατὰ τὸν ὅποιον ἡ ὁμάς τῶν σπανίων γαιῶν ἀρχίζει ἀπὸ τὸ Λανθάνιον. Ὡς ἐκ τούτου ἡ ὁμάς αὕτη ὠνομάσθη ὑπὸ τοῦ Seaborg «ὁμάς τοῦ Ἄκτινίου» ἢ «Ἄκτινίδια». Ἡ ἀποψις αὕτη περὶ τῆς ὑπάρξεως τῆς ὁμάδος τῶν ἄκτινιδῶν, ἡ ὁποία καὶ ὑπεστηρίχθη κυρίως ὑπὸ τοῦ Seaborg, συνήντησεν εὐθὺς ἐξ ἀρχῆς σημαντικὰς ἀντιρρήσεις, αἱ ὁποῖαι διευτυπώθησαν κυρίως ὑπὸ τοῦ Haissinsky κ.ά. Συμφώνως πρὸς τὰς ἀντιθέτους αὐτὰς ἀπόψεις, τὰ μέχρι τοῦδε γνωστὰ δεδομένα τὰ ἀφορῶντα τὰ στοιχεῖα αὐτὰ καὶ κυρίως αἱ χημικὰ τῶν ἰδιότητες, ἀποκαλύπτουν ὅτι ἡ ὁμάς τῶν στοιχείων μεταπτώσεως εἰς τὸ τέλος τοῦ περιοδικοῦ συστήματος ἀρχίζει ὄχι ἀπὸ τὸ Ἄκτινίου ἀλλὰ ἀπὸ τὸ Οὐράνιον, μὴ περιλαμβάνουσα δηλαδὴ τὰ στοιχεῖα Ἄκτινίου (Ac—89), Θόριον (Th—90), Πρωτακτινίου (Pa—91) καὶ συνεπῶς ἡ ὁμάς αὕτη πρέπει νὰ ὠνομασθῇ «ὁμάς τοῦ Οὐρανίου» ἢ «Οὐρανίδια».

Τόσον ὁ Seaborg καὶ οἱ μετ' αὐτοῦ παραδεχόμενοι τὴν ὑπαρξίν τῶν ἄκτινιδῶν, ὅσον καὶ οἱ ἀντιτιθέμενοι πρὸς τὴν ἀποψιν αὐτῆν, συμφωνοῦν εἰς τὸ γεγονός ὅτι ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τῶν στοιχείων αὐτῶν καὶ ἡ τοποθέτησις τῶν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα εἶναι δύο διαφορετικὰ προβλήματα καὶ ὅτι ὅπως ἀκριβῶς εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν σπανίων γαιῶν, οὕτω καὶ τὰ νέα μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχεῖα πρέπει νὰ ταξινομηθοῦν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα βάσει τῶν χημικῶν κυρίως ἰδιοτήτων, ὡς μία ἀνεξάρτητος ὁμάς, καὶ οὐχὶ βάσει τῆς ἰδιαιτέρας ἠλεκτρονικῆς δομῆς τῶν ἀερίων ἀτόμων αὐτῶν.

Τὰ νέα στοιχεῖα ὡς ὁμάς ἄκτινίου. Ἡ ἀνακάλυψις τῶν νέων στοιχείων μετ' ἀτομικὸν ἀριθμὸν 94, 95, 96, (Pu, Am, Cm) ἀνηγγέλθη διὰ πρώτην φοράν τὸ 1945 ὑπὸ τοῦ Seaborg (1,2). Ἀπὸ τῆς ἐποχῆς δὲ ἐκείνης ὁ Seaborg ἐπανῆλθεν ἐπὶ τῆς ἀπόψεως, τὴν ὁποῖαν παλαιότερον ἄλλοι Φυσικοὶ εἶχαν διατυπώσει, ὅτι δηλαδὴ εἰς τὴν περιοχὴν τῶν στοιχείων, τὰ ὁποῖα ἀκολουθοῦν τὸ Ἄκτινιον, λαμβάνει χώραν προσθήκη ἠλεκτρονίων εἰς τὴν ὑποστιβάδα 5f (Oiv).

Πρὶν ἢ ὁμοῦ ἀναπτύξωμεν τὰ πειραματικὰ δεδομένα ἐπὶ τῶν ὁποίων ἐστηρίχθη ἡ θεμελίωσις τῆς ἀντιλήψεως ταύτης, ὅτι δηλαδὴ τὰ νέα στοιχεῖα ἀνήκουν εἰς τὴν ὁμάδα τοῦ Ἄκτινίου, πρέπει νὰ ἀναφερθῶμεν ἔν συντομίᾳ πῶς εἶχε τεθῆ τὸ θέμα τῆς κατατάξεως

τῶν τριῶν τελευταίων ἐκ τῶν ἀπαντῶντων εἰς τὴν φύσιν στοιχείων τοῦ περιοδικοῦ συστήματος, δηλαδὴ τοῦ Θόριου (Th—90), Πρωτακτινίου (Pa—91) καὶ Οὐρανίου (U—92), πρὸ τῆς ἀνακαλύψεως τῶν νέων μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχείων.

Τὰ τρία αὐτὰ στοιχεῖα ἐτοποθετοῦντο εἰς τὴν ἑβδόμην περίοδον τοῦ συστήματος καὶ εἰς τὰς ἀντιστοιχοῦσας θέσεις ἀκριβῶς κάτω ἀπὸ τὰ στοιχεῖα μεταπτώσεως τῆς ἑκτῆς περιόδου Ἄφνιον (Hf—72), Ταντάλιον (Ta—73) καὶ Βολφράμιον (W—74), εἰς τὰ ὁποῖα ὡς γνωστὸν λαμβάνει χώραν συμπλήρωσις ὑπὸ τῆς ὑποστιβάδος 5d(Oiv). Τὰ στοιχεῖα αὐτὰ (Hf, Ta, W) κατὰ τὰς χημικὰς τῶν ἰδιοτήτων εἶναι ὅμοια πρὸς τὰ ἀντίστοιχα στοιχεῖα μεταπτώσεως τῆς πέμπτῆς περιόδου, τὰ εὐρισκόμενα ἀκριβῶς ἀνωθεν αὐτῶν, δηλαδὴ πρὸς τὸ Ζιρκόνιον (Zr—40), Νιόβιον (Nb—41) καὶ Μολυβδαίνιον (Mo—42), εἰς τὰ ὁποῖα συμπληροῦνται ἡ ὑποστιβάς 4d(Niv). Ἄφ' ἑτέρου ἦτο γνωστὸν, ὅτι τὸ Th καὶ Pa, εἰς μικροτέραν δὲ κλίμακα τὸ U παρουσιάζουν ὀρισμένας ὁμοιότητας πρὸς τὰ στοιχεῖα 4d καὶ 5d τῆς πέμπτῆς καὶ ἑκτῆς περιόδου. Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν παλαιότερον ἦτο γενικῶς ἀποδεκτὸν, ὅτι εἰς τὰ στοιχεῖα αὐτὰ μετ' ἀτομικὸν ἀριθμὸν 90, 91, 92 λαμβάνει χώραν συμπλήρωσις τῆς ἠλεκτρονικῆς ὑποστιβάδος 6d(Piv). Οὕτω ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τῶν μετὰ τὸ ραδόνιον στοιχείων θὰ πρέπει νὰ εἶναι τοῦ Fr (87): 7s¹ τοῦ Ra (88): 7s² τοῦ Ac (89): 6d¹ 7s², τοῦ Th (90): 6d² 7s² καὶ τοῦ U (92): 6d³ 7s².

Τὸ θέμα τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς τῶν στοιχείων, ἰδίᾳ τῶν βαρέων μετάλλων, ἀπετέλεσε τὸ ἀντικείμενον πλείστων ὄσων ἐρευνητῶν μετὰ ἀπὸ τὰς θεμελιώδεις ἐργασίας τοῦ Bohr (3). Ἐκτοτε διευτυπώθη ὑπὸ πολλῶν (Rydberg) (4), ἡ ἀποψις ὅτι τὸ ἐπόμενον ὑποθετικὸν εὐγενὲς ἀέριον θὰ πρέπει νὰ εἶναι ἀτομικὸν ἀριθμὸν 118 τοποθετούμενον ὡς 32 στοιχεῖα μετὰ τὸ τελευταῖον ἐκ τῶν γνωστῶν εὐγενῶν ἀερίων τὸ Ραδόνιον (Rn—86). Ἡ ἀποψις βεβαίως αὕτη ὡδήγει εἰς τὴν παραδοχὴν προκαταβολικῶς τῆς ὑπάρξεως μιᾶς νέας σειρᾶς στοιχείων μεταπτώσεως ἀναλόγου ἐκείνης ἡ ὁποία ὑπάρχει μετὰ τῶν δύο προηγουμένων εὐγενῶν ἀερίων, δηλαδὴ τοῦ Ξένου (Xe—54) καὶ Ραδονίου (Rn—86).

Τὰ περισσότερα πάντως τῶν πειραματικῶν δεδομένων ἐδημιούργησαν ἐξ ἀρχῆς τὴν πεποίθησιν ὅτι ἡ νέα αὕτη σειρά στοιχείων μεταπτώσεως πρέπει νὰ ἀρχίζῃ ἀπὸ τὴν περιοχὴν τῶν στοιχείων περὶ τὸ Οὐράνιον (U—92), καίτοι δὲν ὑπῆρχεν σαφὴς γνώμη ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἐσωτερικὴν στιβάδα ἡ ὁποία συμπληροῦται προοδευτικῶς εἰς τὰ ἐν λόγω στοιχεῖα μεταπτώσεως καὶ τὸ στοιχεῖον ἀκριβῶς ἀπὸ τὸ ὅποιον ἀρχίζει ἡ ὁμάς αὕτη.

Κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη ὁ μεγαλύτερος ἀριθμὸς δημοσιευμάτων παραδέχεται, ὅτι ἡ σειρά αὕτη τῶν στοιχείων μεταπτώσεως ἀφορᾷ τὴν ὑποστιβάδα 5f δημιουργουμένης οὕτω μιᾶς νέας ὁμάδος σπανίων γαιῶν, ἀναλόγου ἐκείνης τοῦ Λανθανίου (La—57)—Υτρίου (Y—71), ὅπου λαμβάνει χώραν συμπλήρωσις τῆς ἠλεκτρονικῆς ὑποστιβάδος 4f.

Εἰδικῶς διὰ τὸ ποῖον εἶναι τὸ πρῶτον στοιχεῖον τῆς νέας ὁμάδος, γεγονός τὸ ὅποιον εἶναι ἰδιαιτέ-

ρας σημασίας διά την παραδοχὴν τῆς ἀπόψεως τῆς ομάδος τοῦ ἀκτινίου, θὰ ἀναφέρωμεν ἐν συντομίᾳ τὰς πρὸ τῆς ἀνακαλύψεως τῶν μετὰ τὸ Οὐράνιον νέων στοιχείων διατυπωθείσας διαδοχικῶς ἀπόψεις. Οὕτω ὁ Bohr⁽⁵⁾ καὶ οἱ περισσότεροί τῶν ἐρευνητῶν διετύπωσαν ἀρχικῶς τὴν γνώμην, ὅτι ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f ἀρχίζει ἀπὸ τὸ Οὐράνιον (U—92) ἢ τὰ γειτονικά πρὸς αὐτὸ στοιχεῖα, εἰς τὸ περιοδικόν δὲ σύστημα τὸ καταρτισθὲν ὑπὸ τῶν Bohr—Thompson ἀναφέρεται τὸ ἀγνωστον τότε στοιχεῖον 94 ὡς τὸ πρῶτον μὲ ἠλεκτρόνια 5f. Βάσει τῆς παλαιᾶς ἀτομικῆς θεωρίας οἱ Sugira καὶ Urey⁽⁶⁾ ὑπελόγησαν, ὅτι τὸ πρῶτον ἠλεκτρόνιον 5f πρέπει νὰ ἐμφανίζεται εἰς τὸ στοιχεῖον 95 ἐνῶ οἱ Wu καὶ Goudsmit⁽⁷⁾ ὑπολογίσαντες βάσει νεωτέρων μεθόδων, δι' ἐπιλύσεως τῆς ἀντιστοιχίου ἐξισώσεως Schrodinger, εἶδον ὅτι τὸ πρῶτον ἠλεκτρόνιον 5f πρέπει νὰ ἀπαντᾷ εἰς τὸ U (92) ἢ εἰς τὸ στοιχεῖον 93.

Κατὰ τοὺς MacLennan, MacLay καὶ Smith⁽⁸⁾, τοὺς M. Saha καὶ N. Saha⁽⁹⁾, τὸν Perrin⁽¹⁰⁾, τὸν Rudy⁽¹¹⁾, τὸν Carranza⁽¹²⁾ καὶ Villar⁽¹³⁾, τὸ πρῶτον στοιχεῖον 5f εἶναι τὸ Th (90) ἐνῶ κατὰ τὸν Karapetoff⁽¹⁴⁾ ἡ ὑποστιβάς 5f ἀρχίζει νὰ συμπληροῦται ἀπὸ τὸ στοιχεῖον 93, κατὰ τὸν Grosse⁽¹⁵⁾ ἀπὸ τοῦ U (92), κατὰ τὸν Mayer⁽¹⁶⁾ ἀπὸ τοῦ στοιχείου U(92) ἢ Pa (91) καὶ κατὰ τὸν Quill⁽¹⁷⁾ ἀπὸ τοῦ στοιχείου (95) ἢ 99). Ἀργότερον ὁ Goldschmidt⁽¹⁸⁾, βάσει κρυσταλλογραφικῶν δεδομένων κατέληξεν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι τὸ πρῶτον ἠλεκτρόνιον 5f θὰ πρέπει νὰ ἐμφανίζεται εἰς τὸ Πρωτακτινίου (Pa—91) χωρὶς ὅμως καὶ νὰ ἀποκλείσῃ τὸ δεδομένον ὅτι πιθανόν νὰ εἶναι τὸ Θόριον (Th—90) ἢ τὸ Οὐράνιον (U—92) ἢ ἕνα ἀπὸ τὰ ἐπόμενα ἀγνωστα τότε στοιχεῖα, τὸ πρῶτον εἰς τὸ ὅποιον ἀρχίζει ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f. Οὗτος μάλιστα ὑπέδειξεν, ὅπως κατ' ἀνάλογον τρόπον πρὸς τὴν ὀνομασίαν «Λανθανίδαι» τὴν ὁποίαν ὁ ἴδιος μετ' ἄλλων (Goldschmidt—Barth—Lunde)⁽¹⁹⁾ ἐπρότεινεν διὰ τὰ 14 στοιχεῖα τῶν σπανίων γαιῶν, τὰ ὁποῖα ἀκολουθοῦν τὸ Λανθάνιον (La—57), νὰ ὀνομασθοῦν τὰ στοιχεῖα μεταπτώσεως τῆς νέας ομάδος «Θ ο ρ ι δ α ι» ἢ «Ἀ κ τ ι ν ι δ α ι» ἢ «Ο Ὑ ρ α ν ι δ α ι» ἀναλόγως τοῦ στοιχείου τοῦ ὁποῖου ἔπονται, δηλαδὴ ἡ ὁμάς νὰ χαρακτηρισθῇ ἀπὸ τοῦ προηγουμένου στοιχείου ἀπὸ τοῦ ὁποῖου ἄρχεται ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἐν συντομίᾳ ἀναφερομένων καθίσταται καταφανές ὅτι, πρὸ τῆς ἀνακαλύψεως τῶν νέων στοιχείων δὲν ἦτο δυνατόν νὰ θεωρηθῇ ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τῶν βαρέων στοιχείων καὶ ἡ κατάταξις αὐτῶν εἰς τὸ περιοδικόν σύστημα ὡς ὀριστικῆ.

Ἡ ἀνακάλυψις ὅμως τῶν νέων, μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχείων καὶ ἡ μελέτη τῶν ἰδιοτήτων αὐτῶν παρέσχεν πρόσθετα δεδομένα, τὰ ὁποῖα συνέβαλον εἰς τὴν διαλεύκανσιν τοῦ ὅλου προβλήματος τοῦ ἀφορῶντος τόσον τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν, ὅσον καὶ τὴν τοποθέτησιν τῶν στοιχείων αὐτῶν εἰς τὸ περιοδικόν σύστημα. Οὕτω αἱ πρῶται σημαντικαὶ ἐνδείξεις ὅτι ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f ἀρχίζει εἰς τὴν περιοχὴν αὐτὴν τῶν βαρέων στοιχείων, προέρχεται ἀπὸ τὴν μελέτην τῶν ἰδιοτήτων τοῦ Ποσειδωνίου (Np—93) ὑπὸ

τῶν McMillan καὶ Abelson⁽²⁰⁾. Ἡ μελέτη τοῦ στοιχείου αὐτοῦ ἀπέδειξεν ὅτι τοῦτο ἀπὸ ἀπόψεως χημικῶν ἰδιοτήτων ὁμοιάζει πρὸς τὸ γειτονικόν αὐτοῦ στοιχεῖον Οὐράνιον (U—92), ἐνῶ δὲν παρουσιάζει ὁμοιότηας πρὸς τὸ Ρήνιον (Re—75) τὸ ἀμέσως ἀνωτέρω αὐτοῦ εὐρισκόμενον στοιχεῖον εἰς τὴν αὐτὴν ὁμάδα τοῦ περιοδικοῦ συστήματος. Ἀνάλογοι ἐργασίαι ἐπὶ τοῦ Ποσειδωνίου (Np—93), ὠδήγησαν τοὺς μὲν Starke⁽²¹⁾ καὶ Bedreag⁽²²⁾ εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι τὸ πρῶτον ἠλεκτρόνιον 5f ἐμφανίζεται εἰς τὸ Ποσειδωνίου (Np—93), τοὺς δὲ Strassmann καὶ Hahn⁽²³⁾ εἰς τὴν διατύπωσιν τῆς ἀπόψεως, ὅτι μὲ τὰ ὑπάρχοντα δεδομένα εἶναι δύσκολον νὰ ἐξαχθῇ συμπέρασμα ἀπολύτως ὀρθόν ἐπὶ τοῦ πρώτου στοιχείου μὲ ἠλεκτρόνια 5f.

Κατὰ τὸ 1942 ἀφ' ἑτέρου οἱ Seaborg καὶ Wahl⁽²⁴⁾ ἐκ τῆς μελέτης τῶν στοιχείων Ποσειδωνίου (Np—93) καὶ Πλουτωνίου (Pu—94), ὠδηγήθησαν εἰς τὴν ὑπόθεσιν ὅτι ἡ ὁμάς μεταπτώσεως τῶν βαρέων στοιχείων πρέπει νὰ ἀρχίξῃ ἀπὸ στοιχεῖον μικροτέρου ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ ἀπὸ τὸ Οὐράνιον καὶ ὅτι πιθανῶς τὸ Ἀκτινίου (Ac—89) ἢ τὸ Θόριον (Th—90) θὰ πρέπει νὰ εἶναι τὸ πρῶτον στοιχεῖον τῆς ομάδος, δηλαδὴ τὸ στοιχεῖον μετὰ ἀπὸ τὸ ὅποιον ἀρχίζει ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f ὅπως ἀκριβῶς τὸ Λανθάνιον (La—57) εἰς τὰς σπανίας γαίας.

Ἐν τῷ μεταξύ κατὰ τὰ τελευταῖα ἔτη κατέστη δυνατὴ ἡ μελέτη τῶν φυσικοχημικῶν ἰδιοτήτων ἐπὶ ἱκανῶν ποσοτήτων τῶν νέων στοιχείων καὶ ἰδίως τῶν στοιχείων μὲ ἀτομικὸν ἀριθμὸν 93—96 ἐνῶ, ταυτοχρόνως ἐγένετο περισσότερον συστηματικὴ μελέτη τῶν ἰδιοτήτων τοῦ Θορίου, Πρωτακτινίου καὶ Οὐρανίου. Τὰ ἐκ τῆς συστηματικῆς αὐτῆς μελέτης προκύψαντα πειραματικὰ δεδομένα ὠδήγησαν τὸν Seaborg^(25,26) εἰς τὸ συγκεκριμένον πλέον συμπέρασμα, ὅτι κατὰ τρόπον ἀνάλογον πρὸς τὰς σπανίας γαίας, εἰς τὴν περιοχὴν τῶν βαρέων μετάλλων, περὶ τὸ τέλος τοῦ περιοδικοῦ συστήματος ἀρχίζει μία νέα ὁμάς στοιχείων μεταπτώσεως, τῆς ὁποίας τὸ πρῶτον στοιχεῖον εἶναι τὸ Ἀκτινίου (Ac—89) καὶ οὕτω ἡ ὁμάς αὕτη πρέπει νὰ ὀνομασθῇ ὁμάς τοῦ Ἀκτινίου ἢ Ἀκτινίδαι, τὸ δὲ πρῶτον ἠλεκτρόνιον 5f ἐμφανίζεται εἰς τὸ στοιχεῖον Θόριον (Th—90) καίτοι τοῦτο δὲν εἶναι τελειῶς ἀπαραίτητον.

Τὰ δεδομένα τὰ ὁποῖα ὠδήγησαν τὸν Seaborg εἰς τὴν διατύπωσιν τῆς ὑποθέσεως τῶν ἀκτινιδῶν καὶ τὰ ὁποῖα περιγράφομεν ἐν συντομίᾳ κατωτέρω, ἀναφέρονται εἰς τὰς χημικὰς κυρίως ἰδιότητες τοῦ συνόλου τῶν γνωστῶν στοιχείων τῆς ομάδος, εἰς τὰ φάσματα ἀπορροφῆσεως τῶν ἐνώσεών των, τὸσον ἐν διαλύματι ὅσον καὶ ἐν κρυσταλλικῇ καταστάσει, εἰς μετρήσεις μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος, εἰς τὴν μελέτην τῆς κρυσταλλικῆς κατασκευῆς καὶ εἰς φασματοσκοπικὰ δεδομένα.

Οὕτω ἀπὸ χημικῆς ἀπόψεως διαπιστοῦται γενικῶς ὅτι αἱ μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχεῖα παρουσιάζουν ὁμοίας ἰδιότητας τόσον μεταξύ των, ὅσον καὶ μὲ τὰ προηγούμενα αὐτῶν στοιχεῖα τῆς ομάδος μέχρι τοῦ Ἀκτινίου, ἐνῶ τόσον τὰ μετὰ τὸ Οὐράνιον, ὅσον αὐτὸ τοῦτο τὸ Οὐράνιον καὶ τὰ πρὸ αὐτοῦ στοιχεῖα παρουσιάζουν διαφορὰς ἀπὸ τὰ στοιχεῖα τὰ εὐρι-

σκόμμενα άνωθεν αυτών εις τας αντίστοιχους ομάδας του περιοδικού συστήματος. 'Επί παραδείγματι τὸ σημεῖον τήξεως τοῦ μεταλλικοῦ Οὐρανίου ἔχει περισσότεραν σχέσηιν μετὰ τὰ γειτονικά πρὸς αὐτὸ στοιχεῖα τοῦ περιοδικοῦ συστήματος παρὰ μετὰ τὸ W καὶ τὸ Mo, τὰ ὁποῖα εὐρίσκονται άνωθεν αὐτοῦ εις τὴν ἴδιαν στήλην τοῦ περιοδικοῦ συστήματος. 'Επίσης τὸ U διαφέρει σημαντικῶς κατὰ τὰς χημικὰς ιδιότητας τῶν ενώσεων του ἀπὸ τὸ W καὶ τὸ Mo. Οὕτω τὸ U^{+3} καὶ U^{+4} δὲν ἔχουν ὄξινον χαρακτήρα καὶ δὲν παρουσιάζουν τὴν τάσιν νὰ σχηματίζουν σταθερὰ σύμπλοκα ἰόντα ἐν διαλύματι ὅπως τὸ W καὶ τὸ Mo. Οὕτω τὸ W^{+3} σχηματίζει λίαν σταθερὸν σύμπλοκον χλωριούχον ἰόν, τὸ δὲ W^{+4} σταθερὰ σύμπλοκα φθοριούχα καὶ κυανιούχα ἰόντα ὅπως τὸ λίαν σταθερὸν $W(CN)_6^{4-}$ μετὰ ἠλεκτρονικὴν δομὴν 18 ἔξωτερικῶν ἠλεκτρονίων⁽²¹⁾. Προφανῶς τὸ U^{+4} θὰ ἔπρεπε νὰ σχηματίζῃ παρόμοιον σύμπλοκον, ἐὰν εἶχε τὴν αὐτὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν μετὰ τὸ W εις τὰς ἔξωτερικὰς στιβάδας. 'Αντιθέτως, τὸ U^{+3} ὁμοιάζει παρὰ πολὺ μετὰ τὰς τρισθενεῖς σπανίας γαίας καὶ τὸ 'Ακτίνιον, ἐνῶ τὸ U^{+4} ὁμοιάζει μετὰ τὸ Ce^{+4} καὶ μετὰ τὸ Th. 'Επίσης τὸ U^{+3} καὶ τὸ U^{+4} σχηματίζουν φθοριούχους καὶ διαφόρους ἄλλας ἀλογονοῦνους ενώσεις, αἱ ὁποῖαι εἶναι ἰσόμορφοι πρὸς τὰς φθοριούχους καὶ τὰς αντίστοιχους ἀλογονοῦνους ενώσεις τῶν σπανίων γαιῶν. 'Αφ' ἑτέρου τὸ ἔξασθενὲς Οὐράνιον U^{+6} σχηματίζει ὡς γνωστὸν τὸ χαρακτηριστικὸν ἰόν τοῦ οὐραυλίου UO_2^{+2} ἀνάλογον τοῦ ὁποῖου δὲν σχηματίζουν τὸ W καὶ τὸ Mo. Καίτοι ἐπὶ πλέον τὸ διοξειδίου τοῦ Μολυβδαινίου καὶ τὸ διοξειδίου τοῦ Βολφραμίου εἶναι ἰσόμορφα μεταξὺ τῶν, δὲν εἶναι ἰσόμορφα πρὸς τὸ διοξειδίου τοῦ Οὐρανίου, ἐνῶ τὰ διοξειδία τοῦ Οὐρανίου, Θορίου καὶ Δημητρίου ἔχουν ἰσόμορφον κρυσταλλικὴν κατασκευὴν.

'Εκτὸς ἀπὸ τὸ Οὐράνιον, τὸ Θόριον, τὸ ὁποῖον εἶναι δεύτερον κατὰ σειρὰν εις τὴν ομάδα τοῦ 'Ακτινίου, ὁμοιάζει πρὸς τὸ δεύτερον στοιχεῖον τῆς ομάδος τοῦ Λανθανίου, τὸ Δημήτριον (Ce^{+4}) καὶ ὄχι πρὸς τὸ Hf καὶ τὸ Zr τὰ ὁποῖα εὐρίσκονται άνωθεν, αὐτοῦ εις τὴν ἴδιαν στήλην τοῦ περιοδικοῦ συστήματος. Οὕτω ἐνῶ τὰ φθοριούχα ἄλατα τοῦ Θορίου καὶ τοῦ Ce^{+4} εἶναι δυσδιάλυτα, τὰ ἀντίστοιχα φθοριούχα τοῦ Hf καὶ Zr εἶναι εὐδιάλυτα.

Πρέπει ἐπίσης νὰ τονισθῇ ὅτι ἐνῶ τὸ Οὐράνιον δὲν ἀπαντᾷ εις ὄρυκτά μετὰ τοῦ W καὶ Mo ἐν τούτοις τὰ ὄρυκτά τοῦ Οὐρανίου κοί Θορίου συνοδεύονται πάντοτε ἀπὸ σπανίας γαίας καὶ ἀντιστρόφως τὰ ὄρυκτά σπανίων γαιῶν περιέχουν πάντοτε Οὐράνιον καὶ Θόριον.

"Ὅσον ἀφορᾷ τὸ σθένος τῶν στοιχείων τῆς ομάδος τοῦ 'Ακτινίου διεπιστώθη κατ' ἀρχὴν ὅτι, ὅπως καὶ εις τὴν περίπτωσιν τῶν σπανίων γαιῶν, ἡ σταθερὰ κατάστασις σθένους εἶναι +3. 'Εκτὸς ἀπὸ τὸ σθένος +3 παρατηροῦνται καὶ μεγαλύτερα σθένη. 'Η αύξησις ὁμῶς τοῦ σθένους, αύξανομένου τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ, εἶναι δύσκολος. Οὕτω ἀπὸ τοῦ Οὐρανίου εις τὸ Πλουτωνίου καθίσταται δυσκολωτέρα ἡ μετάβασις ἐκ τοῦ σθένους +3 εις τὸ σθένος +4 καὶ

ἐκ τοῦ σθένους +4 εις τὸ σθένος +6, εις τὴν περίπτωσιν δὲ τοῦ 'Αμερικοῦ εἶναι ἀδύνατον νὰ ἐπιτευχθῇ ἐν διαλύματι ὀξειδωσις αὐτοῦ εις σθένος +4 καὶ +6. 'Η σταθερότης τοῦ σθένους +3 εις τὰ στοιχεῖα τῆς ομάδος ἐκδηλοῦται καὶ ἐκ τοῦ γεγονότος ὅτι εις κρυσταλλικὴν κατάστασιν σταθερώτεροι εἶναι αἱ τρισθενεῖς ενώσεις καὶ ἐξ αὐτῶν αἱ φθοριούχοι, ἡ δυνατότης δὲ παρασκευῆς ἀνωτέρων φθοριούχων ενώσεων περιορίζεται αύξανομένου τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ. Οὕτω ἐνῶ τοῦ Οὐρανίου καὶ Ποσειδωνίου ἔχουν παρασκευασθῆ τρί—,τέτρα—,πέντα— καὶ ἕξα—φθοριούχοι, ενώσεις, τοῦ Πλουτωνίου παρασκευάσθησαν μόνον τρί— καὶ τέτρα—φθοριούχοι, τοῦ δὲ 'Αμερικοῦ μόνον ἡ τριφθοριούχος. Πράγματι εις τὴν περίπτωσιν τοῦ 'Αμερικοῦ οἱ Fried καὶ Florin⁽²²⁾ τῇ κατεργασίᾳ τοῦ φθοριούχου 'Αμερικοῦ (AmF_3) εις ὑψηλὴν θερμοκρασίαν μετὰ φθορίου δὲν ἐπέτυχον τὸν σχηματισμὸν ἀνωτέρων φθοριούχων ενώσεων αὐτοῦ. 'Η δυνατότης δὲ σχηματισμοῦ ἀνωτέρων ενώσεων εἶναι ἀκόμη περισσότερον περιορισμένη προκειμένου περὶ χλωριούχων, βρωμιούχων καὶ ἰωδιούχων. Οὕτω τοῦ Πλουτωνίου καὶ 'Αμερικοῦ δὲν κατέστη δυνατὴ ἡ παρασκευὴ ἄλλων πλὴν τῶν τριχλωριούχων, τριβρωμιούχων καὶ τριιωδιούχων ενώσεων.

Εἰς ὅτι ἀφορᾷ γενικῶς τὴν μεταβολὴν τοῦ σθένους τῶν στοιχείων τῆς 'Ομάδος τοῦ 'Ακτινίου παρατηρεῖται μεγάλη ἀναλογία μετὰ τὴν μεταβολὴν τοῦ σθένους εις τὰ στοιχεῖα τῶν σπανίων γαιῶν Οὕτω κατ' ἀρχὴν ἀπεδείχθη πειραματικῶς ὅτι ἡ ὀξειδωσις πρὸς σθένη μεγαλύτερα τοῦ +3 εἶναι εὐκολωτέρα εις τὰς ἀκτινίδας παρ' ὅσον εις τὰ σπανίας γαίας, δηλαδὴ τὰ ἠλεκτρόνια 5f ἀπομακρύνονται εὐκολωτερον ἀπὸ τὰ ἠλεκτρόνια 4f γεγονὸς τὸ ὁποῖον ἀνεμένετο καὶ εἶχεν προβλεφθῆ ἐκ τοῦ χαμηλωτέρου δυναμικοῦ ἰονισμοῦ τῶν ἠλεκτρονίων 5f ἔναντι τῶν 4f. 'Η ἀναλογία σθένους ἐμφανίζεται καὶ εις τὰ σθένη τὰ μικρότερα τοῦ +3. Οὕτω τὸ 'Αμερικόν, τὸ ὁποῖον εις τὴν σειρὰν τῶν στοιχείων τῆς ομάδος τῶν ἀκτινιδῶν ἀντιστοιχεῖ πρὸς τὸ Εὐρώπιον τῶν σπανίων γαιῶν, δύναται νὰ μεταπέσῃ εις Am^{+3} , καθ' ὅσον εις τὴν κατάστασιν αὐτὴν ἡ 5f ὑποστιβάς περιλαμβάνει 7 ἠλεκτρόνια δηλαδὴ ἔχει σχετικῶς σταθερὰν ἠλεκτρονικὴν δομὴν καὶ ὅσον εἶναι κατὰ τὸ ἥμισυ συμπληρωμένη. 'Ὡς εἶναι γνωστὸν καὶ τὸ Eu, τὸ ὁποῖον εις τὴν ομάδα τῶν σπανίων γαιῶν προηγείται τοῦ Γαδολινίου, εἶναι διεθενὲς λόγῳ τοῦ ὅτι εις τὴν κατάστασιν αὐτὴν ἡ ὑπερστιβάς 4f περιλαμβάνει 7 ἠλεκτρόνια. 'Ὅπως δὲ θὰ ἀνεμένετο, ἡ ἀναγωγὴ τοῦ Am^{+3} πρὸς Am^{+2} ἀπατεῖ ἰσχυρότερον ἀναγωγικὸν μέσον ἀπὸ ὅτι ἡ ἀναγωγὴ τοῦ Eu^{+3} πρὸς Eu^{+2} λόγῳ τῆς μεγαλύτερης εὐκολίας μετὰ τὴν ὁποίαν ἀπομακρύνονται τὰ ἠλεκτρόνια 5f.

Μετὰ τὸ Am, τὸ Cm ὅταν εὐρίσκεται εις τὴν κατάστασιν +3 περιλαμβάνει 7 ἠλεκτρόνια εις τὴν ὑποστιβάδα 5f, κατὰ συνέπειαν τὸ Cm θὰ πρέπει νὰ ἀπαντᾷ ἀποκλειστικῶς ὡς τρισθενὲς γεγονὸς, ὁποῖον ἀποδεικνύεται καὶ πειραματικῶς, καίτοι σγ

ματίζει CmO_2 , λόγω της σταθεράς κατασκευής του διοξειδίου αυτού.

Ἀξιοσημείωτος ἐπίσης εἶναι ἡ ὁμοιότης τῶν ἀκτινιδῶν μετὰ τὰς σπανίας γαίας εἰς ὅ,τι ἀφορᾷ τὰς μεταλλικὰς τῶν ιδιότητες. Οὕτω τὰ στοιχεία ἀπὸ τοῦ Θορίου μέχρι τοῦ Ἀμερικίου, τὰ ὁποῖα ἔχουν παρασκευασθῆ εἰς μεταλλικὴν κατάστασιν, παρουσιάζουν ὁμοιότητα εἰς τὸν μεταλλικὸν χαρακτήρα μετὰ τὰς σπανίας γαίας. Εἶναι ὅλα ἐξόχως ἠλεκτροθετικά καὶ μάλιστα κατὰ τὸν αὐτὸν βαθμὸν ὅπως ἀκριβῶς καὶ αἱ σπάνιαι γαῖαι. Ὡς πρὸς τὸν ἠλεκτροθετικὸν δηλαδὴ χαρακτήρα τὰ στοιχεία τῶν ἀκτινιδῶν διαφέρουν ἀπὸ τὰ στοιχεία τῆς ἑκτῆς περιόδου τὰ εὐρισκόμενα ἄνωθεν αὐτῶν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα, δηλαδὴ τὸ Ἄφνιον ($\text{Hf}-72$), Ταντάλιον ($\text{Ta}-73$), Βολφράμιον ($\text{W}-74$), Ρήνιον ($\text{Re}-75$), Ὄσμιον ($\text{Os}-76$) καὶ Ἰρίδιον ($\text{Ir}-77$), εἰς τὰ ὁποῖα ὁ ἠλεκτροθετικὸς χαρακτήρ μειοῦται προοδευτικῶς ἐφ' ὅσον προστίθενται ἠλεκτρόνια $5d$ εἰς τὸ Hf πρὸς τὸ Ir .

Τὰ στοιχεία τῶν ἀκτινιδῶν παρουσιάζουν ἀναλογίαν πρὸς τὰς σπανίας γαίας καὶ εἰς τὰς πυκνότητάς των.

Ἀφ' ἐτέρου μεταξὺ τῶν πειραματικῶν δεδομένων, τὰ ὁποῖα ἀποκαλύπτουν κατὰ τρόπον λίαν χαρακτηριστικὸν τὴν ἀναλογίαν μεταξὺ τῶν ἀκτινιδῶν καὶ τῶν σπανίων γαιῶν, εἶναι τὰ φάσματα ἀπορροφῆσεως τῶν ἐνώσεων αὐτῶν τόσο ἐν διαλύματι, ὅσον καὶ εἰς κρυσταλλικὴν κατάστασιν. Ὡς γνωστὸν τὰ χαρακτηριστικὰ φάσματα ἀπορροφῆσεως τῶν σπανίων γαιῶν ὀφείλονται εἰς τὴν παρουσίαν ἠλεκτρονίων $4f$. Ἡ μελέτη δὲ τῶν φασμάτων ἀπορροφῆσεως τῶν στοιχείων ἀπὸ τοῦ Οὐρανίου μέχρι καὶ τοῦ Κιουρίου, ἀπέδειξεν ὅτι ὑπάρχει σημαντικὴ ἀναλογία μετὰ τὰ φάσματα τῶν ἀντιστοιχῶν στοιχείων τῶν σπανίων γαιῶν. Χαρακτηριστικὸν δὲ τῶν φασμάτων αὐτῶν εἶναι τὸ γεγονός ὅτι ἡ πολύπλοκος κατασκευὴ των καθίσταται καὶ εἰς τὰς δύο ομάδας περισσότερον ἀπλουστερα, ἐφ' ὅσον προχωροῦμεν πρὸς τὰ στοιχεία τῶν δύο ομάδων τῶν ὁποίων ἡ ὑποστιβάς $4f$ καὶ $5f$ ἀντιστοιχῶς εἶναι συμπληρωμένη κατὰ τὸ ἥμισυ, ἥτοι περιλαμβάνει 7 ἠλεκτρόνια, γεγονός τὸ ὁποῖον συμβαίνει εἰς τὸ Γαδολίνιον ἀφ' ἐνὸς καὶ εἰς τὸ Κιούριον ἀφ' ἐτέρου. Ἡ μεγάλη δὲ ἀναλογία τῶν φασμάτων ἀπορροφῆσεως εἰς τὰς δύο ομάδας ἀποτελεῖ μίαν ἐπὶ πλέον ἀπόδειξιν τῆς ὑπάρξεως ἠλεκτρονίων $5f$ εἰς τὰ στοιχεία τῶν ἀκτινιδῶν.

Ὅσον ἀφορᾷ τὰ πειραματικὰ δεδομένα τὰ ἔχοντα σχέσιν μετὰ μετρήσεις μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος, καίτοι, μόνον τῶν τὰ δεδομένα αὐτὰ δὲν ἐπιτρέπουν τὴν διατύπωσιν βεβαίων συμπερασμάτων ποσοτικῶς κυρίως χαρακτήρος, ἐν τούτοις ἡ σύγκρισις τοιούτων ἀποτελεσμάτων ἀφορώντων τὰς δύο ομάδας σπανίων γαιῶν καὶ ἀκτινιδῶν, παρέχει μίαν ἐπὶ πλέον ἐνδειξιν ὅτι εἰς τὰ μετὰ τὸ Ἀκτίνιον στοιχεία περιλαμβάνονται ἠλεκτρόνια $5f$. Οὕτω ἡ μέτρησις τῆς μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Pu^{+3} , Pu^{+4} καὶ Pu^{+5} ὁδηγεῖ εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι εἰς τὸ Pu^{+3} ὑπάρχουν πέντε ἠλεκ-

τρόνια $5f$ τὰ ὁποῖα, αὐξανόμενου τοῦ σθένους τοῦ λόντος, ἀπομακρύνονται διαδοχικῶς. Μετρήσεις ἀφ' ἐτέρου μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος ἐκτελεσθεῖσαι ὑπὸ τῶν Hutchison καὶ Elliott (^{29,30}) ἐπὶ τῶν ἐνώσεων τοῦ U^{+4} ἀπέδειξαν ὅτι τοῦτο παρουσιάζει ὁμοιότητας μετὰ τὸ Pr^{+3} γεγονός τὸ ὁποῖον ὁδηγεῖ εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι μεταξὺ τῶν στοιχείων τῶν δύο ομάδων ὑπάρχει ἀνάλογος ἠλεκτρονικὴ δομὴ καὶ ὅτι τὸ Οὐράνιον ἔχει τρία ἠλεκτρόνια $5f$ ὅπως τὸ Pr ἔχει 3 ἠλεκτρόνια $4f$. Κατὰ τρόπον ἀνάλογον οἱ Howland καὶ Calvin (³¹) διὰ μετρήσεων μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος ἐπὶ τῶν λόντων τοῦ U , Np , Pu καὶ Am εἰς διαφόρους ὀξειδωτικὰς βαθμίδας, ὁδηγήθησαν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι τὸ Np^{+6} ἀντιστοιχεῖ εἰς τὴν δομὴν $5f^3$ τὰ U^{+4} , Np^{+5} καὶ Pu^{+6} εἰς τὴν δομὴν $5f^5$, τὸ Np^{+4} εἰς τὴν $5f^2$, τὸ Pu^{+4} εἰς τὴν $5f^4$, τὸ Pu^{+3} εἰς τὴν $5f^5$ καὶ τὸ Am^{+3} εἰς τὴν $5f^6$. Τὰ δεδομένα δὲ αὐτὰ ἀποκαλύπτουν τὴν ἀνάλογον ἠλεκτρονικὴν δομὴν τῶν ἀκτινιδῶν πρὸς τὴν δομὴν τῶν στοιχείων τῶν σπανίων γαιῶν.

Εἰς τὰ αὐτὰ ἀποτελέσματα ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν τῶν στοιχείων τῆς ομάδος τοῦ Ἀκτινίου, ὁδηγοῦν καὶ διάφορα πειραματικὰ δεδομένα ἔχοντα σχέσιν μετὰ ὀπτικά φάσματα καὶ φάσματα ἀκτίνων X τῶν ἐν λόγω στοιχείων.

Οὕτω ὡς διεπίστωσαν οἱ Tompkins καὶ Fred (³²), κατόπιν ποιοτικῆς συγκρίσεως τῶν φασμάτων ἐκπομπῆς τῶν σπανίων γαιῶν καὶ τῶν ἀκτινιδῶν, ἡ ἔντασις τῶν φασματικῶν γραμμῶν τοῦ Eu καὶ Am παρουσιάζουν μεγάλην ἀναλογίαν, οὕτως ὥστε νὰ εἶναι βέβαιον, ὅτι τὰ δύο αὐτὰ στοιχεία ἔχουν ἀνάλογον ἠλεκτρονικὴν δομὴν, συνεπῶς ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τοῦ ἀερίου Am θὰ εἶναι $5f^3 7s^2$ δηλαδὴ ὁμοία πρὸς τὴν τοῦ Eu . Ὁ Russell (³³) ἀφ' ἐτέρου ἐμελέτησε συστηματικῶς τὰ φάσματα X , τοῦ Ra , Th καὶ U καὶ ὁδηγήθη εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος $5f$ ἀρχίζει ἀπὸ τοῦ Th , γεγονός τὸ ὁποῖον συμφωνεῖ μετὰ τὴν τοποθέτησιν τοῦ Th ὡς δευτέρου στοιχείου τῆς ομάδος τῶν ἀκτινιδῶν, ὅπως ἀκριβῶς τὸ Ce ἀπὸ τὸ ὁποῖον ἀρχίζει ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος $4f$, εἶναι τὸ δεύτερον κατὰ σειράν στοιχεῖον τῆς ομάδος τῶν σπανίων γαιῶν. Ἀναφέρομεν ἐπίσης διαφόρους ἐργασίας ἐπὶ τῶν φασμάτων τοῦ Οὐρανίου, ὡς αἱ τῶν Kiess, Humphreys καὶ Laun (^{34,35}), τοῦ Schuurmans (³⁶), τῶν Schuurmans, Van Der Bosch, Dijkuel (³⁷) καὶ τῶν Mc Nally, Harisson (³⁸), αἱ ὁποῖαι ὁδήγησαν εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τοῦ οὐδετέρου ἀτόμου τοῦ Οὐρανίου εἶναι $5f^3 6d^1 7s^2$, δομὴ σύμφωνος μετὰ τὴν θέσιν τοῦ Οὐρανίου ὡς τρίτου κατὰ σειράν στοιχείου τῆς ομάδος μετὰ τὸ Ἀκτίνιον.

Πάντως, ἐκ τῶν πειραματικῶν δεδομένων προκύπτει κατὰ τρόπον σαφῆ, ὅτι τὸ Cm ἔχει εἰς τὴν ὑποστιβάδα $5f$, 7 ἠλεκτρόνια, πιθανῶς δὲ τὸ ἄγνωστον σήμερον στοιχεῖον 103 νὰ εἶναι ἐκεῖνο εἰς τὸ ὁποῖον ἡ ὑποστιβάς $5f$ συμπληροῦται μετὰ 14 ἠλεκτρόνια. Τὸ στοιχεῖον βεβαίως αὐτὸ θὰ ἀντιπροσωπεύη τὸ τελευταῖον στοιχεῖον τῆς ομάδος τῶν ἀκτινιδῶν

Τὰ νέα στοιχεία ὡς στοιχεία ὁμάδος τοῦ Οὐρανίου καὶ τοῦ Κιουρίου. Ὅπως ἀνεφέρθη καὶ ἀνωτέρω, ἡ ὑπὸ τοῦ Seaborg διατυπωθεῖσα ὑπόθεσις τῶν ἀκτινιδῶν, συνήντησεν εὐθὺς ἐξ ἀρχῆς σοβαρὰς ἀντιρρήσεις ὅπως π.χ. ἐκ μέρους τῶν Haissinsky, Bouissières⁽³⁹⁾, Haissinsky^(40,41), Paneth^(42,43,44) κ.ά. Ἐξακολουθοῦν δὲ καὶ σήμερον διατυπούμεναι σοβαραὶ ἀμφιβολίαι, κυρίως ὅσον ἀφορᾷ τὸ ἐὰν εἶναι ὀρθόν, βάσει τῶν χημικῶν κυρίως ἰδιοτήτων, νὰ κατατάσσονται τὰ μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχεία 93—101 εἰς τὴν αὐτὴν ὁμάδα μὲ τὰ πρὸ τοῦ Οὐρανίου στοιχεία Ac(89), Th(90) καὶ Pa(91), ὅπως γίνεται εἰς τὴν ὁμάδα τῶν ἀκτινιδῶν.

Πρὶν ὅμως ἀναφερθῶμεν εἰς τὰ πειραματικὰ δεδομένα ἐπὶ τῶν ὁποίων στηρίζονται αἱ ἀντιρρήσεις αὐταί, συνοψίζομεν τὰ βασικὰ στοιχεία ἐπὶ τῶν ὁποίων στηρίζεται ἡ ὑπόθεσις τῶν ἀκτινιδῶν.

1) Ἀπὸ ἐνὸς ὀρισμένου στοιχείου εἰς τὴν 7ην περίοδον τοῦ περιοδικοῦ συστήματος τὰ ἠλεκτρόνια, τὰ ὅποια προστίθενται αὐξανόμενον τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ, δὲν καταλαμβάνουν τὰς ὑποστιβάδας 6d, αἱ ὁποῖαι καὶ ἀντιστοιχοῦν εἰς μίαν κανονικὴν διαδοχὴν τῶν στιβάδων, ἀλλὰ καταλαμβάνουν τὰς ὑποστιβάδας 5f, ὅπως ἀκριβῶς εἰς τὴν ἕκτην περίοδον τοῦ περιοδικοῦ συστήματος τὰ ἠλεκτρόνια σθένους ἀπὸ τοῦ Λανθανίου καὶ μετέπειτα τοποθετοῦνται εἰς τὰς ὑποστιβάδας 4f καὶ οὐχὶ τὰς 5d.

2) Τὸ στοιχεῖον τῆς ἐβδόμης περιόδου μετὰ τὸ ὁποῖον ἀρχίζει ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 5f εἶναι τὸ Ἄκτινιον, τὸ τρίτον δηλαδὴ στοιχεῖον τῆς ἐβδόμης περιόδου ὅπως ἀκριβῶς τὸ Λανθάνιον μετὰ ἀπὸ τὸ ὁποῖον ἀρχίζει ἡ συμπλήρωσις τῆς ὑποστιβάδος 4f, εἶναι τὸ τρίτον στοιχεῖον τῆς ἕκτης περιόδου.

3) Ἡ τοιαύτη κατανομὴ τῶν ἠλεκτρονίων καθορίζει μίαν ὁμοιότητα μεταξὺ τῶν στοιχείων τῆς ὁμάδος τοῦ Ἄκτινίου, ἰδίᾳ εἰς τὸ κύριον σθένος αὐτῶν, τὸ ὁποῖον εἶναι +3 ὅμοιον δηλαδὴ πρὸς τὸ σθένος τῶν στοιχείων τῶν σπανίων γαιῶν.

Ἡ πρώτη ἀντίρρηση, ἡ ὁποία διευπλώθη εἰς τὰς ἀνωτέρω βασικὰς ἀπόψεις εἶναι τὸ κατὰ πόσον τὰ μέχρι σήμερον πειραματικὰ δεδομένα ἐπαρκοῦν διὰ νὰ θεωρηθῇ ὡς ὀρθὴ ἡ προτεινομένη ἠλεκτρονικὴ δομὴ τῶν ἀκτινιδῶν ἰδίᾳ τοῦ Th καὶ U καὶ κατὰ πόσον εἶναι ὀρθόν ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ τῶν στοιχείων νὰ καθορίζῃ τὴν χημικὴν ἔκφρασιν αὐτῶν καὶ ἀκόμη νὰ ἐπιτρέπῃ τὴν πρόβλεψιν τῶν χημικῶν ἰδιοτήτων τῶν στοιχείων. Ἐναπερόμεν δὲ ὀρισμένα παραδείγματα, διὰ νὰ καταδείξωμεν σαφέστερον τὸ νόημα τῆς ἀντιρρήσεως αὐτῆς.

Ἐστω ὅτι ἡ ἱστορικὴ ἐξέλιξις τῶν γνώσεών μας ἐπὶ τῶν ἰδιοτήτων τῶν στοιχείων εἶναι τοιαύτη, ὥστε οἱ Φυσικοὶ νὰ εἶχον ἐπιτύχει καθορισμὸν τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς τῶν στοιχείων, μόνον διὰ τῆς μελέτης τῶν φυσικῶν ἰδιοτήτων, δηλαδὴ μὲ τὴν βοήθειαν φασματικῶν, μαγνητικῶν καὶ ἄλλων φυσικῶν δεδομένων, προτοῦ νὰ γνωρίζουν τὰς χημικὰς ἰδιότητες αὐτῶν. Γεννᾶται τὸ ἐρώτημα: Θὰ ἦτο δυνατὴ μὲ τὰ δεδομένα αὐτά, μίᾳ χημικῇ ταξινομήσει τῶν στοιχείων

ὅπως εἶναι τὸ περιοδικὸν σύστημα; Θὰ ἦτο δηλαδὴ δυνατόν ἐκ μόνης τῆς γνώσεως τοῦ πίνακος Bohr—Stoner, ὁ ὁποῖος παριστᾷ τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν τῶν ἀτόμων, νὰ καταστρώσωμεν τὸ περιοδικὸν σύστημα τοῦ Mendéléev; Ἀσφαλῶς δὲν εἶναι ἀπολύτως βέβαιον. Πιθανῶς θὰ ἦτο δυνατόν νὰ πρόβλεφθῇ ὅτι τὰ ἐγγενῆ ἄερια ἔχουν σθένος μηδέν, ὅτι τὰ ἀλκάλια ἔχουν σθένος +1, αἱ ἀλκαλικαὶ γαῖαι +2 καὶ τὰ ἀλογόνα —1. Ὅμως θὰ ἦτο ἀδύνατον βάσει π.χ. τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς τῶν ἀτόμων τοῦ Fe, Co, Ni, νὰ προβλεφθοῦν τὰ σθένη +2 καὶ +3 τῶν στοιχείων αὐτῶν ἢ νὰ προβλεφθῇ ὅτι τὸ Ru, τὸ ὁποῖον ἔχει 7 ἠλεκτρόνια 4d καὶ ἓνα ἠλεκτρόνιον 5s εἶναι ἱκανὸν νὰ ἀποκτήσῃ ὅλα τὰ σθένη ἀπὸ +1 ἕως +8, ἐνῶ τὸ Pd μὲ 10 ἠλεκτρόνια 4d εἶναι δισθενὲς καὶ τρισθενὲς. Ἀκόμη δὲ καὶ εἰς τὴν περίπτωσιν τῶν στοιχείων τῆς ὁμάδος τῶν σπανίων γαιῶν ἡ ἠλεκτρονικὴ δομὴ ὀρισμένων ἐξ αὐτῶν δὲν εἶναι τόσον ἀπλήρ, ὥστε ἐκ μόνης τῆς γνώσεως αὐτῆς νὰ προκύπτῃ τὸ συμπέρασμα ὅτι τὸ κύριον σθένος αὐτῶν εἶναι τὸ +3.

Ἡ πρόβλεψις βεβίως αὐτὴ καθίσταται ἀκόμη δυσκολωτέρα, προκειμένου περὶ τῶν στοιχείων τῆς 7ης περιόδου εἰς τὴν ὁποῖαν, ὅπως ἀπεδείχθη πειραματικῶς (π.χ. εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Th^{45,46,47,48}), ἡ ἐνέργεια τῶν ἠλεκτρονίων 5f εἶναι ἀνάλογος μὲ τὴν ἐνέργειαν τῶν ἠλεκτρονίων 6d καὶ συνεπῶς αἱ μεταπτώσεις ἠλεκτρονίων μεταξὺ τῶν δύο ὑποστιβάδων εὐκόλοι.

Τὸ συμπέρασμα συνεπῶς εἰς τὸ ὁποῖον καταλήγει ἡ ἀνωτέρω ἐκτεθεισα ἀποψις εἶναι τὸ ὅτι παρὰ τὴν στενὴν σχέσιν ἡ ὁποία ὑπάρχει μεταξὺ τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς τοῦ στοιχείου καὶ τῶν χημικῶν ἰδιοτήτων αὐτοῦ, ἐν τούτοις μόνον τὰ δεδομένα τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς δὲν ἐπαρκοῦν διὰ τὴν ταξινομήσιν τῶν στοιχείων εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα τὸ ὁποῖον εἶναι μίᾳ κατὰ τάξιν βασικῶς χημικὴ καὶ πρέπει συνεπῶς νὰ γίνῃ μὲ βάσιν τὰς χημικὰς ἰδιότητας τῶν στοιχείων. Τονίζεται ἐπίσης ὅτι ἡ περιοδικότης ὀρισμένων χημικῶν ἰδιοτήτων, ἡ ὁποία συνοδεύει τὴν περιοδικὴν κατὰ τάξιν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα εἶναι ἀρκετὰ πολὺπλοκος μὲ ἐπιτρέπουσα προβλέψεις, γεγονὸς τὸ ὁποῖον μᾶς ὑποχρεώνει ὅπως, κατὰ τὴν ταξινομήσιν τῶν στοιχείων, λάβωμεν ὑπ' ὄψιν μας τὰς βασικὰς χημικὰς ἰδιότητας αὐτῶν καὶ ὄχι τὰς ἄλλας δευτερευούσης σημασίας, αἱ ὁποῖαι μάλιστα δικαιολογοῦνται εὐκολώτερον ἀφοῦ προηγουμένως ἐπιτευχθῇ ἡ ταξινομήσις τῶν στοιχείων. Μεταξὺ συνεπῶς τῶν βασικῶν χημικῶν ἰδιοτήτων ἐκείνη ἡ ὁποία πρέπει νὰ ληφθῇ ὑπ' ὄψιν καὶ τὴν ὁποῖαν κυρίως ἐχρησιμοποίησεν ὁ Mendéléev κατὰ τὴν ταξινομήσιν τῶν στοιχείων εἶναι τὸ σθένος αὐτῶν καὶ μάλιστα τὸ μέγιστον σθένος τῶν στοιχείων, καθὼς ἐπίσης ἡ σταθερότης τῶν σθενῶν τῶν στοιχείων ἐν διαλύματι καὶ ἐν κρυσταλλικῇ καταστάσει. Εἰς τὸν κατωτέρω πίνακα ἀναγράφονται τὰ γνωστὰ σθένη τῶν στοιχείων τῆς 7ης περιόδου:

ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΝ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (1957)

	ΟΜΑΣ I a	ΟΜΑΣ II b	ΟΜΑΣ III a	ΟΜΑΣ IV b	ΟΜΑΣ V a	ΟΜΑΣ VI b	ΟΜΑΣ VII a	ΟΜΑΣ VIII b	ΟΜΑΣ IX a	
1	1 H 1,0080								2 He 4,003	
2	3 Li 6,940	4 Be 9,013	5 B 10,82	6 C 12,010	7 N 14,008	8 O 16	9 F 19,00		10 Ne 20,183	
3	11 Na 22,991	12 Mg 24,32	13 Al 26,98	14 Si 28,09	15 P 30,975	16 S 32,066	17 Cl 35,457		18 Ar 39,944	
4	19 K 39,100	20 Ca 40,08	21 Sc 44,96	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,94	26 Fe 55,85	27 Co 58,94	28 Ni 58,71
	29 Cu 63,54	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,60	33 As 74,91	34 Se 78,96	35 Br 79,916			36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,48	38 Sr 87,63	39 Y 88,92	40 Zr 91,22	41 Nb 92,91	42 Mo 95,95	43 Tc [99]	44 Ru 101,1	45 Rh 102,91	46 Pd 106,4
	47 Ag 107,880	48 Cd 112,41	49 In 114,82	50 Sn 118,70	51 Sb 121,76	52 Te 127,61	53 I 126,91			54 Xe 131,30
6	55 Cs 132,91	56 Ba 137,36	57-71 *	72 Hf 178,50	73 Ta 180,95	74 W 183,86	75 Re 186,22	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,09
	79 Au 197	80 Hg 200,61	81 Tl 204,39	82 Pb 207,21	83 Bi 209,00	84 Po 210	85 At [210]			86 Rn 222
7	87 Fr [223]	88 Ra 226,05	89- **							

* Σπάνια γαία (Λανθανίδαι)	57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm [145]	62 Sm 150,35	63 Eu 152,0	64 Gd 157,26	65 Tb 158,93	66 Dy 162,51	67 Ho 164,94	68 Er 167,27	69 Tm 168,94	70 Yb 170,04	71 Lu 174,99
-------------------------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

** Ακτινίδια	89 Ac 227	90 Th 232,05	91 Pa 231	92 U 238,07	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [245]	97 Bk [249]	98 Cf [249]	99 E [254]	100 Fm [255]	101 Mv [256]
--------------	--------------	-----------------	--------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------------	-----------------	-----------------

Fr (87)	Ra (88)	Ac (89)	Th (90)	Pa (91)	U (92)	Np (93)	Pu (94)	Am (95)	Cm (96)	Bk (97)	Cf (98)
1	2	3	(3), 4	4, 5	(3),4,(5), 6	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6	(2),3,(4),5,6	3	3, 4	3, 5;

Οι μέλανες αριθμοί παριστούν τὰ πλέον σταθερά σθένη ἐνῶ οἱ ἐντὸς τῶν παρενθέσεων τὰ πλέον ἀσταθῆ.

Ὡς προκύπτει ἐκ τοῦ ἀνωτέρω πίνακος τὰ στοιχεῖα τῆς 7ης περιόδου δυνάμεθα νὰ τὰ διακρίνωμεν εἰς τρεῖς ομάδας. Ἡ πρώτη ἐξ αὐτῶν περιλαμβάνει τὰ στοιχεῖα ἀπὸ τοῦ Fr(87) μέχρι τοῦ U(92) εἰς τὰ ὁποῖα τὸ σταθερὸν σθένος αὐξάνει ἀπὸ τὸ +1 εἰς τὸ +6. Συνεπῶς βάσει τοῦ σθένους τῶν εἶναι πολὺ δύσκολον νὰ ἀπομακρύνῃ κανεὶς τὰ στοιχεῖα αὐτὰ ἀπὸ τὰς ἀντιστοίχους ομάδας I—VI τοῦ περιοδικοῦ συστήματος εἰς τὰς ὁποίας καὶ ἀνήκουν. Ἐπὶ πλέον εἰς πλείστας ὁσας περιπτώσεις αἱ χημικαὶ ιδιότητες τῶν στοιχείων Ac(89), Th(90), Pa(91) καὶ U(92) εἶναι τόσον διαφορετικαὶ ὥστε τὰ στοιχεῖα αὐτὰ νὰ δύνανται εὐκόλως νὰ διαχωρισθοῦν μεταξύ τῶν, γεγονός τὸ ὁποῖον δὲν συμβαίνει εἰς τὰ ἀντίστοιχα στοιχεῖα τῶν σπανίων γαιῶν ἀπὸ τοῦ La(57) ἕως τοῦ Nd(60). Τὸ συμπέρασμα δηλαδὴ εἰς τὸ ὁποῖον μᾶς ὁδηγεῖ ἡ μελέτη τοῦ σθένους καὶ ὠρισμένων χημικῶν ιδιοτήτων τῶν πρὸ τοῦ Οὐρανίου στοιχείων, δὲν δύναται νὰ μεταβληθῇ οἰαδιῆποτε καὶ ἀνεῖναι αἱ ιδιότητες τῶν μετὰ τὸ Οὐράνιον ἀνακαλυφθέντων τῶν νέων στοιχείων. Δηλαδὴ ἡ μελέτη τῶν στοιχείων μὲ ἀτομικὸν ἀριθμὸν μεγαλύτερον τοῦ Οὐρανίου δὲν εἶναι δυνατόν νὰ παράσῃ ἐπιχειρήματα ὑπὲρ μιᾶς ὑποθέσεως, ἡ ὁποία ἀποβλέπει εἰς τὸ νὰ συμπεριλάβῃ τὰ τρία πρὸ τοῦ Οὐρανίου στοιχεῖα (Ac-Th-Pa) εἰς τὴν αὐτὴν ομάδα μὲ τὰ νέα στοιχεῖα τὰ μετὰ τὸ Οὐράνιον, ὅπως συμβαίνει μὲ τὴν ὑπόθεσιν τῶν ἀκτινιδῶν.

Ἡ δευτέρα ομάδα εἰς τὴν ἑβδόμην περίοδον πρέπει νὰ περιλάβῃ τὰ στοιχεῖα ἀπὸ τοῦ U(92) μέχρι τοῦ Am(95), τὰ ὁποῖα καὶ παρουσιάζουν τὰ αὐτὰ σθένη, ἐνῶ ταυτοχρόνως εἰς τὰ στοιχεῖα αὐτὰ ἡ σταθερότης τῶν μικροτέρων τῶν σθενῶν αὐξάνει μετὰ τοῦ ἀτομικοῦ ἀριθμοῦ. Ἡ μεταβολὴ δὲ τοῦ σθένους εἰς τὰ στοιχεῖα αὐτὰ ἐμφανίζεται σαφέστερον εἰς τὰς στερεὰς τῶν ἐνώσεις, φαινόμενον τὸ ὁποῖον εἶναι ἀνάλογον ἐκεῖνου τὸ ὁποῖον ἐμφανίζεται καὶ εἰς τὰ στοιχεῖα τῶν τριάδων π.χ. Ru—Rh—Pd καὶ Os—Ir—Pt. Ἐπὶ πλέον τὰ τέσσαρα στοιχεῖα U(92), Np(93), Pu(94) καὶ Am(95) ἔχοντα τὸ ἴδιον σθένος παρουσιάζουν ἀναλόγους χημικὰς ιδιότητας. Τὰ γεγονότα αὐτὰ ὡδήγησαν τὸν Haïssinsky εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι τὰ τέσσαρα αὐτὰ στοιχεῖα πρέπει νὰ ταξινομηθοῦν εἰς τὸ περιοδικὸν σύστημα ὡς μία τετράς ὑπὸ τὸ ὄνομα Ο ὁ ρ α ν ἰ δ α ι.

Μίαν τρίτην ομάδα τῆς ἑβδόμης περιόδου πρέπει νὰ ἀποτελέσουν τὰ στοιχεῖα Cm(96), Bk(97) καὶ Cf(98), τὰ ὁποῖα χαρακτηρίζονται ἀφ' ἐνός μὲν ἀπὸ τὸ αὐτὸ σθένος +3 ἀφ' ἑτέρου δὲ ἀπὸ ἑλλειψιν δυνατότητος νὰ ἀποκτοῦν περισσότερα σθένη. Εἰς τὸ σημεῖον δὲ

αὐτὸ πρέπει νὰ τονισθῇ ὅτι εἶναι λίαν περιεργον τὸ γεγονός ὅτι ἐκ τοῦ Am(95) μὲ τὰ πέντε διαφορετικὰ σθένη, μεταπίπτωμεν ἀποτόμως εἰς τὸ Cm(96) μὲ ἕνα μόνον σθένος τὸ +3, εἰς τὸ Bk(97) μὲ σθένη +3 καὶ +4, ἐκ τῶν ὁποίων μόνον τὸ πρῶτον εἶναι σταθερὸν (⁴⁹) καὶ τὸ Cf(98) μὲ κύριον σθένος +3 πιθανῶς δὲ καὶ δευτερον σθένος +5, ἀσταθῆς (⁵⁰). Ἡ σημαντικὴ αὐτὴ διαφορὰ, εἰς ὅτι ἀφορᾷ τὸ σθένος τῶν στοιχείων αὐτῶν, ἀποτελεῖ μίαν δικαιολογίαν διακρίσεως τῶν ἀπὸ τὰ προηγούμενα αὐτῶν στοιχεῖα. Ἄφ' ἑτέρου τὰ τελευταῖα τρία αὐτὰ στοιχεῖα εἰς πλείστας ιδιότητάς τῶν παρουσιάζουν ἀναλογίας πρὸς τὰ ἀντίστοιχα στοιχεῖα τῶν σπανίων γαιῶν Gd(64)—Tb(65) καὶ Dy(66).

Ἡ ἀναλογία δηλαδὴ τῶν νέων στοιχείων πρὸς τὰς σπανίας γαῖας, ὅσον ἀφορᾷ τὰς χημικὰς ιδιότητάς ἐμφανίζεται μόλις ἀπὸ τοῦ Cm καὶ μετέπειτα. Τοῦτο ὁμῶς δὲν σημαίνει ὅτι πρέπει ἡ ὁμοιότης αὐτὴ νὰ ἐπεκταθῇ καὶ εἰς τὰ πρὸ τοῦ Cm(96) στοιχεῖα μέχρι τοῦ Ac(89) ὥστε νὰ θεωροῦνται αὐτὰ ἀνάλογα πρὸς τὰ πρὸ τοῦ Gd(64) ἀντίστοιχα στοιχεῖα τῶν σπανίων γαιῶν.

Συμφώνως πάντοτε πρὸς τὰς ἀντιθέτους τῆς ὑποθέσεως τῶν ἀκτινιδῶν ἀπόψεις, τὰ ἀνωτέρω ἀναφερόμενα χημικὰ δεδομένα ὁδηγοῦν καὶ εἰς συγκεκριμένα συμπεράσματα ἀφορῶντα τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν τῶν στοιχείων τῆς 7ης περιόδου. Οὕτω τὰ μετὰ τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν τοῦ εὐγενοῦς ἀερίου Rn(86) προστιθέμενα ἠλεκτρόνια, καταλαμβάνουν ἀπὸ τοῦ Fr(87) μέχρι Pa(91) τὰς ὑποστιβάδας 7s καὶ 6d. Εἰς τὰ στοιχεῖα τῆς ὁμάδος τῶν Οὐρανιδῶν δύο ἐκ τῶν ἠλεκτρονίων αὐτῶν καταλαμβάνουν τὴν ὑποστιβάδα 7s, τὰ δὲ ὑπόλοιπα παρουσιάζουν μικτὸν χαρακτήρα 6d καὶ 5f. Τέλος εἰς τὰ μετὰ τὸ Cm(96) στοιχεῖα τὰ δύο μὲν ἐκ τῶν ἠλεκτρονίων αὐτῶν παραμένουν εἰς τὴν στιβάδα 7s, εἰς δὲ τὰ ὑπόλοιπα ἐπικρατεῖ ὁ χαρακτήρ 5f. Χαρακτηριστικὸν εἶναι ἐπίσης τὸ γεγονός ὅτι ὁ Dawson (⁵¹) κατέληξεν εἰς ἀνάλογα συμπεράσματα βάσει μετρήσεων μαγνητικῆς ἐπιδεκτικότητος, τόσον τοῦ ἴδιου ὅσον καὶ ἄλλων ἐρευνητῶν. Ἄφ' ἑτέρου κρυσταλλογραφικαὶ μετρήσεις ἐκτελεσθεῖσαι ὑπὸ τοῦ Zachariassen ἐπὶ τοῦ μεταλλικοῦ Th(90), Pa(91) καὶ U(92) ὡδήγησαν αὐτὸν εἰς τὸ συμπέρασμα, ὅτι εἰς τὰ στοιχεῖα αὐτὰ πρέπει νὰ ἀποκλείεται ἡ παρουσία ἠλεκτρονίων 5f.

Ἐν συμπεράσματι, κατὰ τὰς ἀντιθέτους πρὸς τὴν ὑπόθεσιν τῶν ἀκτινιδῶν ἀπόψεις δὲν ὑπάρχει καμμία δυσκολία διὰ τὴν κατάταξιν τῶν στοιχείων ἀπὸ τοῦ Fr(87) μέχρι τοῦ U(92). Τὰ στοιχεῖα αὐτὰ πρέπει νὰ παραμείνουν εἰς τὰς ἀντιστοίχους ομάδας τοῦ περιοδικοῦ συστήματος I ἕως VI.

Ἄφ' ἑτέρου λόγῳ τῆς ὁμοιότητος τὴν ὁποῖαν παρουσιάζουν τὰ στοιχεῖα U(92), Np(93), Pu(94), Am(95)

ταῦτα πρέπει νά τοποθετηθῶν εἰς τήν IV^a στήλην τοῦ περιοδικοῦ συστήματος, ὡς μία τετράς ὑπὸ τὸ ὄνομα οὐρανίδαι, ὅπως ἀκριβῶς συμβαίνει μετὰ τὰς τριάδας τῶν στοιχείων, αἱ ὁποῖαι τοποθετοῦνται εἰς τήν VIII στήλην τοῦ περιοδικοῦ συστήματος.

Τέλος, τὰ στοιχεῖα Cm(96), Bk(97), Cf(98) τὰ ὁποῖα παρουσιάζουν ὁμοιότητας μεταξύ των καὶ ἀναλογίας πρὸς τὰς σπανίας γαῖας, δύνανται νά ἀποτελέσουν μίαν ἄλλην τριάδα ὑπὸ τὸ ὄνομα κιουρίδαι.

Ὅσον ἀφορᾷ τὰ τρία τελευταῖα γνωστὰ στοιχεῖα τοῦ περιοδικοῦ συστήματος E(99), Fm(100), Mn(101) δὲν εἶναι δυνατόν νά διατυπωθῶν συμπεράσματα ἐπὶ τῆς κατατάξεώς των, δοθέντος ὅτι δὲν ἔχουν ἀκόμη μελετηθῆ αἱ χημικαὶ τῶν ιδιότητες.

Συμπεράσματα : Ἡ λεπτομερὴς μελέτη καὶ σύγκρισις τῶν ἀναφερθεισῶν ἀπόψεων σχετικῶς πρὸς τὴν ταξινόμησιν τῶν στοιχείων τῆς 7ης περιόδου καὶ ἰδιαιτέρως τῶν στοιχείων ἀπὸ τοῦ Ac(89) μέχρι τοῦ Cf(98) ὡδηγεῖ εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι αἱ ἀπόψεις αὐταὶ παρουσιάζουν πλεῖστα ὅσα κοινὰ σημεῖα ἐνῶ αἱ περισσότεραι τῶν διατυπωμένων ἀντιθέσεων ἀνάγονται εἰς πειραματικὰ δεδομένα τὰ ὁποῖα, μέχρι σήμερον, δὲν εἶναι ἐπαρκῆ διὰ τὴν διατύπωσιν ὀριστικῶν συμπερασμάτων. Ἄφ' ἐτέρου πλεῖστα ἐπιχειρήματα, τὰ ὁποῖα χρησιμοποιοῦνται πρὸς ὑποστήριξιν τῶν ἀντιθέτων ἀπόψεων ἀφοροῦν περιπτώσεις παρόμοιαι τῶν ὁποίων ἀπαντοῦν ὡς ἀνωμαλῖαι καὶ εἰς τὰς ἄλλας ομάδας τοῦ περιοδικοῦ συστήματος.

Ἐπὶ παραδείγματι πρὸς ὑποστήριξιν τῆς ἀπόψεως, ὅτι τὸ U δὲν παρουσιάζει ἀναλογίας πρὸς τὰ ὁμόλογα αὐτοῦ W καὶ Mo, ἀναφέρεται τὸ γεγονός ὅτι τὸ U δὲν σχηματίζει πολυοξέα (ἕτερο—καὶ ἴσο—) ὅπως σχηματίζουν τὸ W καὶ τὸ Mo. Εἶναι ὅμως γνωστὸν ὅτι τὴν ἰδιότητα αὐτὴν κέκτηται εἰς μέγα βαθμὸν καὶ τὸ V, ἐνῶ δὲν σχηματίζουν ἀναλόγους ἐνώσεις τὰ ὁμόλογα αὐτοῦ Nb καὶ Ta. Ταυτοχρόνως διὰ νά καταδειχθῆ ἡ ὁμοιότης τοῦ U πρὸς τὰς σπανίας γαῖας, ἀναφέρεται τὸ γεγονός ὅτι αὐτὰ ἀπαντοῦν εἰς τὰ ὄρυκτά τοῦ Οὐρανίου. Εἶναι ὅμως γνωστὸν ὅτι τὰ ὄρυκτά τοῦ Οὐρανίου ἐκτός ἀπὸ σπανίας γαῖας περιέχουν καὶ Nb, Ta, Ti, ἐνῶ αἱ σπάνιαι γαῖαι ἀπαντοῦν εἰς τὰ ὄρυκτά τοῦ Zr καὶ W, τὰ ὁποῖα οὐδεμίαν σχέσιν ἔχουν μετὰ αὐτάς.

Ἄφ' ἐτέρου διὰ νά καταδειχθῆ ἡ διαφορὰ τῶν μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχείων πρὸς τὰ πρό αὐτοῦ στοιχεῖα Ac καὶ Th, ἐπικαλεῖται κυρίως τὸ γεγονός ὅτι τὸ U, Np, Pu, Am παρουσιάζουν περισσότερα καὶ διαφορετικῆς σταθερότητος σθένη ἀπὸ τὰ Ac καὶ Th.

Παρὰ τὸ γεγονός ὅμως σὺν τὰ πρό καὶ μετὰ τὸ Οὐράνιον στοιχεῖα παρουσιάζουν πλεῖστας ὅσας ὁμοιότητας μεταξύ των, ἴδια ὅταν εὐρίσκονται εἰς τὸ αὐτὸ σθένος. Οὕτω U^{+3} καὶ Cm^{+3} εἶναι ἀνάλογα τοῦ Ac^{+3} ἐνῶ τὰ U^{+4} , Np^{+4} καὶ Pu^{+4} εἶναι ἀνάλογα τοῦ Th^{+4} .

Γενικῶς τὰ μετὰ τὸ Ac στοιχεῖα παρουσιάζουν μὲν ἀρκετὰς ὁμοιότητας μεταξύ των, ἀλλὰ καὶ πλε-

στας ὅσας διαφορὰς. Παρόμοιαι ὅμως διαφοραὶ ἀπαντοῦν καὶ εἰς ἄλλας ομάδας τοῦ περιοδικοῦ συστήματος.

Εἰδικῶς εἰς ὅτι ἀφορᾷ τὴν ἠλεκτρονικὴν δομὴν τῶν στοιχείων αὐτῶν, εἶναι κατὰ γενικὸν τρόπον ἀποδεκτὸν ὅτι τὰ στοιχεῖα ἀπὸ τοῦ U(92) καὶ μετέπειτα περιλαμβάνουν ἠλεκτρόνια 5f ἐνῶ διατυποῦνται ἀντίθετοι γνῶμαι διὰ τὴν ὑπαρξιν τοιοῦτων ἠλεκτρονίων εἰς τὸ Th(90) καὶ Pa(91). Ἐπὶ τοῦ σημείου αὐτοῦ νεώτερα πειραματικὰ δεδομένα ἀφορῶντα τὰ φάσματα τῶν ἀκτίνων X (Y. Cauchois) (27) ὡδηγοῦν εἰς τὸ συμπέρασμα ὅτι εἰς τὸ μεταλλικὸν Th(90) ὑπάρχουν ἠλεκτρόνια 5f γεγονός τὸ ὁποῖον ἀποτελεῖ μίαν ἐπι πλεόν ἀπόδειξιν τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς ἐπὶ τῆς ὁποίας στηρίζεται ἡ κατάταξις τῶν στοιχείων αὐτῶν ὡς ὁμάδος ἀκτινιδῶν.

Πρέπει πάντως νά τονισθῆ ὅτι παραδεχόμενοι τὴν ὑπαρξιν ἀπὸ τοῦ Ac(89) καὶ μετέπειτα μιᾶς ὁμάδος στοιχείων μεταπτώσεως 5f, ἀναλόγου ἐκείνης τῶν σπανίων γαῖων 4f, δὲν θὰ πρέπει ἀπαραιτήτως νά ἀναμένωμεν ὅτι τὰ στοιχεῖα αὐτὰ πρέπει νά παρουσιάζουν μεταξύ των τόσας πολλὰς ὁμοιότητας ὅπως ἀκριβῶς συμβαίνει μεταξύ τῶν στοιχείων τῶν σπανίων γαῖων. Πράγματι τὰ πειραματικὰ δεδομένα ἀπεκαλύπτουν ὅτι ἡ ἐπίδρασις τῆς ἠλεκτρονικῆς δομῆς 5f ἐπὶ τῶν χημικῶν ἰδιοτήτων τῶν στοιχείων δὲν εἶναι ἡ ἴδια μετὰ τὴν ἐπίδρασιν τῶν ἠλεκτρονίων 4f.

Ἐν συμπεράσματι, παρὰ τὰς διαφορὰς, εἰς ὠρισμένας χημικὰς ἰδιότητας τὰς ὁποίας παρουσιάζουν μεταξύ των τὰ μετὰ τὸ Ac(89) στοιχεῖα, ἡ κατάταξις τῶν βάσει τοῦ γενικοῦ τῶν χαρακτήρος 5f εἰς ὁμάδα ἀκτινιδῶν ἀποτελεῖ λαμβανόμενων ὑπ' ὄψιν τῶν μέχρι σήμερον πειραματικῶν δεδομένων, τὴν πλεόν ἱκανοποιητικὴν ταξινόμησιν τῶν εἰς τὸ περιοδικόν σύστημα.

R É S U M É

LA PLACE DES NOUVEAUX ÉLÉMENTS DANS LE SYSTÈME PÉRIODIQUE par T. KARANTASSIS et P. SAKELLARIDIS

La classification périodique des éléments de nombre atomique supérieur à 89, continue, à constituer sujet de controverses. Dans le présent article se résument les principales données théoriques et expérimentales qui conduisirent d'une part Seaborg à l'hypothèse des actinides, et d'autre part Haissinsky à la classification des éléments après l'Uranium en uranides et curides.

L'étude systématique et la comparaison de ces données montre que sur certains points essentiels, l'hypothèse des actinides ne diffère pas beaucoup de la classification des nouveaux éléments en uranides et curides, tandis que la plupart des points de vue opposés se rapportent à des données expérimentales, qui, jusqu'à présent ne sont pas suffisantes pour des conclusions définitives.

D'autre part un grand nombre des arguments utilisés pour ces points de vue opposés concernent des cas, semblables à ceux que l'on rencontre comme ano-

malies dans d'autres groupes du système périodique. En ce qui concerne la configuration électronique de ces éléments, la plupart des données expérimentales à l'heure actuelle sont en faveur de la configuration électronique que prévoit l'hypothèse des actinides.

En somme, malgré les différences qu'ils présentent entre eux dans certaines propriétés chimiques, la classification des nouveaux éléments d'après leur caractère 5f au groupe des actinides, présente à l'heure actuelle (si l'on prend en considération toutes les données expérimentales connues), la classification la plus satisfaisante dans le système périodique.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) **G.T. Seaborg** : Chem. Eng. News. 1945, p. 2190.
- 2) » » Science. **104**, 379, (1946).
- 3) **N. Bohr** : Phil. Mag. **26**, 1 and 476, (1913).
- 4) **J.R. Rydberg** : Lunds Univ. Arsskr **2**, No 18, 9 (1913).
- 5) **N. Bohr** : Nature **112**, 30, (1923).
- 6) **Y. Sugura, H.C. Urey** : Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Mat—fus. Medd. **7**, No 13, 3, (1926).
- 7) **T.Y. Wu, S. Goudsmit** : Phys. Rev. **43**, 496, (1933). **T.Y. Wu** : Phys. Rev. **44**, 727, (1926).
- 8) **T.C. McLennan, A.B. McLay, H.G. Smith** : Proc. Roy. Soc. (London) **A 112**, 76, (1926).
- 9) **M.N. Saha, N.K. Saha** : «Treatise on modern Physics» p.p. 583—588. (The Indian Press, Ltd. Calcuta 1934).
- 10) **J. Perrin** : «Grains de Matière et de Lumière II, 30» (Herman—Paris 1935).
- 11) **R. Rudy** : Rev. Gén. Sci. **38**, 671, (1927).
- 12) **M. Carranza** : Bol. Soc. quim. Peru I No 6, 41, (1935).
- 13) **G.E. Villar** : J. Chem. Educ. **19**, 329, 1942. Ann. Acad. Brasil, Science **12**, 51, (1940).
- 14) **V. Karapetoff** : J. Franklin Inst. **210**, 609, (1930).
- 15) **A.V. Grosse** : J. Am. Chem. Soc. **57**, 440, (1935). Ber. **61**, 233, (1928). J. Am. Chem. Soc. **52**, 1742, (1930).
- 16) **M.G. Mayer** : Phys. Rev. **60**, 184, (1941).
- 17) **L.L. Quill** : Chem. Rev. **23**, 87, (1938).
- 18) **V.M. Goldschmidt** : «Travaux du Congrès Jubilaire Mendéléev». II, 387, (1937).
- 19) **V. M. Goldschmidt, T. Barth, G. Lunde** : Norske videnskaps Acad. I. Mat.—Naturv. Klasse No **7**, 10, (1925).
- 20) **E.M. Mc Millan P.H. Abelson** : Phys. Rev. **57**, 1185, (1940).
- 21) **K. Starke** : Z. anorg. U. allgem. Chem. **251**, 251, (1943).
- 22) **C.G. Bedreag** : Naturwissenschaften **31**, 490, (1943).
- 23) **F. Strassmann, O. Hahn** : Naturwissenschaften **30**, 256, (1942).
- 24) **G.T. Seaborg, A.C. Wahl** : Plutonium Project Report A—135 (March 19, 1942) Paper No 1.6, Plutonium Project Record, Vol. 14 B, «The Transuranium Elements : Research Papers». J. Am. Chem. Soc. **70**, 1128, (1948).
- 25) **G.T. Seaborg** : Manhattan Project Metallurgical Laboratory Report MUC—GTS—858 and CK—1968 (A—2845) p. 55. (July 17, 1944).
- 26) **G.T. Seaborg** : Chem. Eng. News. **23**, 2190, (1945). Science **104**, 379, (1946).
- 27) **G.S. Thompson** : Private Communication (October 1947).
- 28) **S. Fried, A.E. Florin** : Private Communication (October 1947). **S. Fried** : AECD — 1930 (March, 1948)
- 29) **C.A. Hutchison, N. Elliott** : Phys. Rev. **73**, 1229, (1948). J. Chem. Phys. **16**, 920, (1948).
- 30) **C.A. Hutchison, N. Elliott** : Reported at symposium on Chemistry of Transuranium Elements, 1948 Spring Meeting Am. Chem. Soc. Chicago Ill.
- 31) **J.J. Howland, M. Calvin** : Reported at Symposium on Chemistry of Transuranium Elements, 1948 Spring Meeting Am. Chem. Soc. Chicago Ill.
- 32) **F.S. Tompkins, M. Fred** : J. Optical Soc. Am. **39**, 357, (1949).
- 33) **H. Russell** : Manhattan Project Los Alamos Laboratory Report LA—145 (Sept. 24, 1944) MDDC—406 (October 22, 1946).
- 34) **C.C. Kiess, C. J. Humphreys, D. D. Laun** : Manhattan Project Report (A—1747) National Bureau of Standards (Febr. 7, 1944). «Preliminary Description and Analysis of the Spectrum of Neutral Uranium Atoms.
- 35) **C.C. Kiess, C. J. Humphreys, D.D. Laun** : J. Research Nat. Bur. Standards **57**, 57, (1945). J. Optical Soc. Am. **36**, 357, (1946).
- 36) **P. Schuurmans** : Physica **11**, 419, (1946).
- 37) **P. Schuurmans, J. C. Van Der Bosch, N. Dijkuel** : Physica **13**, 117, (1947).
- 38) **J.R. McNally, G.R. Harisson** : Carbide and Carbon Chemicals Corp. (Y—12 plant). U.S. Atom. En. Com. Unclas. Rep. Y—340 (Febr. 11, 1949).
- 39) **Bouissières, Haïssinsky** : XIe Cong. Internat. Chimie. Juillet 1947, Londres.
- 40) **Haïssinsky** : J. Chem. Soc. London 1949, p. S 241.
- 41) **Haïssinsky** : Bul. Soc. Chim. France **16**, 668, (1949).
- 42) **Paneth** : Congrès Solvay, Les Isotopes, Bruxelles, Sept. 1947.
- 43) **Paneth** : Discovery, **9**, 286, (1948).
- 44) **Paneth** : Nature, **165**, 748, (1950).
- 45) **J.R. McNally** : J. Optical Soc. Am. **35**, 390, (1945).
- 46) **J.R. McNally, G.R. Harrison, H.B. Park** : J. Opt. Soc. Am. **32**, 334, (1942).
- 47) **T.L. De Bruin, P.F.A. Klinkenberg, P. Schuurmans** : Z. Physik. **121**, 667, (1943).
- 48) **T.L. De Bruin, P.F.A. Klinkenberg, P. Schuurmans** : Z. Physik. **122**, 23, (1944).
- 49) **S. Thompson, B. Cunningham, G. Seaborg** : J. Am. Chem. Soc. **72**, 2798, (1950).
- 50) **K. Street, S. Thompson, G. Seaborg** : J. Am. Chem. Soc. **72**, 4832, (1950).
- 51) **J. Dawson** : Nucleonics **10**, 39, (1952).
- 52) **Y. Cauchois** : Compt. Rend. de la Soc. Fran. Phys. Seance November 21, (1952).