

Εἰσαγωγή

Τὸ 1896 ὁ Becquerel μὲ μιά ἐργασία πού παρουσίασε στὴν Γαλλικὴ Ἀκαδημία τῶν Ἐπιστημῶν, ἔδειξε ὅτι οἱ ἐνώσεις τοῦ οὐρανίου ἐκπέμπουν ἀκτίνες, πού ἔχουν ιδιότητες παρόμοιες μὲ ἐκείνες τῶν ἀκτίνων-Χ, πού εἶχαν ἀνακαλυφθεῖ ἕνα χρόνο νωρίτερα στὴν Γερμανία ἀπὸ τὸν Roentgen.

Ἡ ἀνακάλυψη αὐτὴ εἶναι ἐκείνη ἀκριβῶς πού ἔδωσε τὴν ὄθηση γιὰ μιά γρήγορη ἀνάπτυξη ἐνὸς καινούργιου πεδίου στὴν ἐπιστήμη: τῆς μελέτης τῆς ραδιενεργείας καὶ τῶν φαινομένων, πού ἔχουν σχέση μὲ αὐτήν. Ἡ πρώτη καὶ συγχρόνως μεγαλύτερη συνεισφορὰ στὸ πεδίο αὐτὸ ἦταν ἡ ἀνακάλυψη τῶν ραδιενεργῶν στοιχείων πολώνιο καὶ ράδιο ἀπὸ τοὺς Marie καὶ Pierre Curie.

Καθὼς τὰ στοιχεία αὐτὰ ἀπαντοῦν σὲ ποσότητες τόσο μικρές, ὥστε νὰ μὴν ἐπιτρέπουν τὴν χρῆση τῆς συνηθισμένης χημικῆς ἀναλύσεως καὶ καθὼς δὲν ἦταν δυνατὸν νὰ συμπεράνουν τὶς χημικὲς τους ιδιότητες, οἱ Marie καὶ Pierre Curie δὲν μπορούσαν νὰ χρησιμοποιήσουν κλασικὲς μεθόδους στὴν ἐρευνά τους γιὰ τὰ ὑποθετικὰ ἐκεῖνα στοιχεία, πού ἦταν ὑπεύθυνα γιὰ τὸ μέρος τῆς ραδιενεργείας τῶν ὀρυκτῶν τοῦ οὐρανίου, πού δὲν ὤφειλόταν σ' αὐτὸ τοῦτο τὸ οὐράνιο.

Στὶς ἀναλύσεις τους λοιπὸν ἔπρεπε νὰ στηριχθοῦν ἀποκλειστικὰ στὸ μόνον γνωστὸ γεγονός, ὅτι τὰ στοιχεία τους ἦταν ραδιενεργά. Ἔτσι γεννήθηκε ἕνας νέος τύπος Χημείας, ἡ Ραδιοχημεία.

Στὰ πρῶτα γεμᾶτα ἐνδιαφέρον χρόνια, πού ἀκολούθησαν τὶς ἀνακαλύψεις αὐτές, πολλοὶ φυσικοὶ ἀλλὰ μᾶλλον λίγοι χημικοὶ ἐργάσθηκαν στὸ πεδίο αὐτό.

Τὸ 1932 οἱ Irene καὶ Frederic Joliot Curie ἔδειξαν ὅτι ραδιενέργεια μπορεῖ νὰ προκληθῆ καὶ τεχνητῶς σὲ σταθερὰ στοιχεία, ἂν μεταβληθῆ ἡ σύσταση τῶν πυρήνων τῶν ἀτόμων τους. Ἔτσι μὲ τὴν ἀνακάλυψη τοῦ κυκλοτρονίου ἀπὸ τὸν E. Lawrence, πού ἔγινε τὸ 1929)30, μπορούσαν νὰ γίνουν πολλὲς προβλέψεις γιὰ μιά τεράστια ἀνάπτυξη τοῦ πεδίου αὐτοῦ. Αὐτό, μαζὶ μὲ ἄλλες ἀνακαλύψεις, ὠδήγησε στὴν καθιέρωση τῶν μελετῶν τοῦ ἀτομικοῦ πυρήνος ὡς ἰδιαίτερου πεδίου ἐρεῦνης.

Τὸ ἐνδιαφέρον ἀπὸ μέρους τῶν χημικῶν, πού ἔλειπε τὰ πρῶτα χρόνια, ἔχει τώρα ἀλλάξει τελείως. Σήμερα μλοῦμε γιὰ Πυρηνικὴ Ἐπιστήμη μὲ ὑποδιαρέσεις τῆς τὴν Πυρηνικὴ Φυσικὴ καὶ τὴν Πυρηνικὴ Χημεία.

Αὐτὸ ἦταν ἀποτέλεσμα τῆς ἐπιτυχημένης καὶ καρποφόρου στενῆς ἐπαφῆς καὶ συνεργασίας μεταξὺ φυσικῆς καὶ χημείας, πού ἀπὸ τὴν ἀρχὴ ὑπῆρξε ἕνα ἀπὸ τὰ χαρακτηριστικὰ τῶν ἐπιστημόνων πού ἐργάσθηκαν στὸν τομέα τῆς ραδιενεργείας.

Γιὰ πολὺ καιρὸ ὁ Frederic Joliot Curie κατεῖχτε τὴν μόνη ἔδρα Πυρηνικῆς Χημείας στὸν κόσμον, στὸ Κολλέγιο τῆς Γαλλίας.

ΠΥΡΗΝΙΚΗ

ΧΗΜΕΙΑ*

Σήμερα, ὡστόσο, ὁ κλάδος τῆς Πυρηνικῆς Χημείας, πού εἶναι ἡ μελέτη τῶν πυρηνικῶν φαινομένων μὲ χημικὲς μεθόδους, ἔχει σὲ πολλὰ Πανεπιστήμια καὶ Πολυτεχνεῖα τὴν αὐτὴ θέση μὲ τοὺς ἄλλους κλάδους τῆς Χημείας. Αὐτὸ ἔγινε κατὰ τὸ μεγαλύτερο ποσοστὸ στὶς Ἠνωμένες Πολιτεῖες τῆς Ἀμερικῆς. Σήμερα ὅμως καὶ τὰ Εὐρωπαϊκὰ Πανεπιστήμια καὶ Πολυτεχνεῖα εἰσάγουν ὅλο καὶ περισσότερο τὴν πυρηνικὴ χημεία στὶς Χημικὲς τους Σχολές, ἂν καὶ στὴν Εὐρώπη ὑπάρχουν πρὸς τὸ παρὸν πολὺ λίγες ἔδρες, ἀφιερωμένες ἀποκλειστικὰ στὴν Πυρηνικὴ Χημεία.

Κλάδοι τῆς Πυρηνικῆς Χημείας

Πρὶν μιλήσουμε γιὰ τοὺς διαφόρους κλάδους τῆς πυρηνικῆς χημείας, εἶναι ἀπαραίτητο νὰ τονίσουμε τὴν θεμελιώδους σημασίας διαφορὰ, πού ὑπάρχει μεταξὺ τῆς κλασικῆς ἢ μοριακῆς χημείας καὶ τῆς πυρηνικῆς χημείας.

Στὴν μοριακὴ χημεία, ὅλες οἱ ἀντιδράσεις ἔχουν ὡς ἀποτέλεσμα μόνον τὴν ἀναδιευθέτηση τῶν ἀτόμων, πού λαμβάνουν μέρος σ' αὐτές. Τὸ εἶδος τῶν ἀτόμων δὲν ἀλλάζει. Μιά πυρηνικὴ χημικὴ ἀντίδραση λαμβάνει χώρα μεταξὺ τῶν πυρήνων τῶν ἀτόμων. Συνεπῶς σὲ μιά πυρηνικὴ ἀντίδραση, τὸ εἶδος τῶν ἀτόμων, πού λαμβάνουν μέρος, ἀλλάζει.

Τοῦ Ἀλέξη Κ. Παπᾶ

Καθηγητοῦ

τῆς Πυρηνικῆς Χημείας στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Ὄσλο καὶ εἰδικοῦ ἐπὶ τῆς τεχνικῆς βοήθειας τοῦ προγράμματος Διεθνoῦς Ὁργανισμοῦ Ἀτομικῆς Ἐνεργείας πρὸς τὴν Ἑλληνικὴ Κυβέρνηση.

Καθὼς στὴν πυρηνικὴ σημεῖα ἐνδιαφερόμαστε γιὰ τὶς πυρηνικὲς ιδιότητες τῶν ἀτόμων, χρησιμοποιοῦμε τὸν ὄρο «νουκλεΐδιο» (nuclide), τὸ ὁποῖο ὀρίζουμε ὡς ἓνα «ἀτομικὸ εἶδος», πὸν χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὴν σύσταση τοῦ πυρήνος του, δηλ. τὰ πρωτόνια καὶ τὰ νετρόνια, καὶ ἀκόμη ἀπὸ τὸ ἐνεργειακὸ του περιεχόμενον.

Ἄς προχωρήσουμε τώρα σὲ μιὰ σύντομη ἀνάλυση τῶν διαφόρων κλάδων τῆς πυρηνικῆς χημείας.

1. Καθαρῶς Πυρηνικὴ Χημεία (Nuclear Chemistry Proper)

Μελέτες τῶν πυρηνικῶν ἀντιδράσεων καὶ ραδιενεργῶν μετασχηματισμῶν μὲ χημικὰ μέσα.

Ἔτσι ὁ κλάδος αὐτὸς τῆς πυρηνικῆς χημείας εἶναι τὸ συμπληρωματικὸ μέρος τῆς καθαρῶς πυρηνικῆς φυσικῆς. Καὶ τὰ δύο ἔχουν ὡς σκοπὸ τὴν καλύτερη κατανόηση τῆς δομῆς καὶ τῶν ιδιοτήτων τῶν πυρήνων.

Ἡ πρώτη τεχνητὴ πυρηνικὴ ἀντίδραση, πὸν ἐπέτυχε ὁ E. Rutherford τὸ 1919, ἦταν: ${}^{14}_7\text{N}(\alpha, p){}^{17}_8\text{O}$. Πυρηνικὲς ἀντιδράσεις, ὡστόσο, λαμβάνουν χώρα στὸν κόσμον ἀπὸ τότε πὸν δημιουργήθηκε τὸ σύμπαν, ἀλλὰ μόνο τελευταῖα ἔγιναν ἀντιληπτές ἀπὸ τὸν ἀνθρώπον.

2. Ραδιοχημεία (Radiochemistry)

Ὁ κλάδος αὐτὸς ἀσχολεῖται μὲ μελέτες τῶν χημικῶν καὶ φυσικῶν ιδιοτήτων τῶν ραδιενεργῶν νουκλεϊδίων καὶ ραδιενεργῶν στοιχείων σὲ ἐξαιρετικὰ ἀραιὰ διαλύματα καὶ συνεπῶς συμπεριλαμβάνει χημικὲς κατεργασίες τῶν ραδιενεργῶν ὑλῶν. Στὸ σημεῖο αὐτὸ πρέπει νὰ ἀναφέρουμε τὴν ἀνάπτυξη εἰδικῶν ἀναλυτικῶν μεθόδων καὶ τεχνικῶν, πὸν ἀπαιτοῦνται γιὰ τέτοιες μελέτες (Ραδιοχημικὴ ἀνάλυση).

Ἡ θεμελίωση τῆς ραδιοχημείας ἔγινε τὸ 1897 ἀπὸ τοὺς Marie καὶ Pierre Curie, ὅπως εἶδαμε, κατὰ τὴν διάρκεια τῆς ἐρεῦνης γιὰ τὰ ραδιενεργὰ στοιχεῖα πολώνιο καὶ ράδιο.

3. Χημεία θερμῶν ἀτόμων (Hot Atom Chemistry)

Μελέτες τῶν χημικῶν φαινομένων πὸν ἀκολουθοῦν τὴν «γέννηση» ραδιενεργῶν νουκλεϊδίων καὶ τῶν χημικῶν καταστάσεων αὐτῶν τούτων τῶν νουκλεϊδίων, ἀμέσως μετὰ τὴν «γέννησή» τους.

Τὰ φαινόμενα αὐτὰ μελετήθηκαν γιὰ πρώτη φορὰ τὸ 1934 ἀπὸ τοὺς L. Szilard καὶ T. Chalmers, οἱ ὁποῖοι κατώρθωσαν νὰ ἀπομονώσουν μοριακὸ ἰώδιο ἀπὸ ἀκτινοβολημένο μεθυλοϊωδίδιο.

4. Πυρηνικὴ Ἀναλυτικὴ Χημεία (Nuclear Analytical Chemistry)

Αὐτοῦ τοῦ εἶδους ἡ ἀνάλυση στηρίζεται στὶς πυρηνικὲς ιδιότητες τῶν στοιχείων, πὸν θέλουμε νὰ προσδιορίσουμε, καὶ γίνεται εἴτε χημικῶς, εἴτε φυσικῶς, εἴτε μὲ συνδυασμὸ καὶ τῶν δύο. Ἡ σπουδαιότερη ἀπ' τὶς μεθόδους αὐτὲς εἶναι ἡ λεγομένη ἀνάλυση διὰ ραδιενεργοποιήσεως, πὸν χρησιμοποιήθηκε γιὰ πρώτη φορὰ τὸ 1936 ἀπὸ τοὺς G. O. Hevesy καὶ Hilde Levi, γιὰ τὸν προσδιορισμὸ ξένων προσμίξεων σὲ φασματοσκοπικῶς καθαρὰ δείγματα μερικῶν ἀπὸ τὰ στοιχεῖα τῆς οἰκογενείας τῶν σπανίων γαιῶν.

Οἱ κλάδοι πὸν ἀκολουθοῦν τώρα εἶναι στὴν πραγματικότητα παρακλάδια τῆς πυρηνικῆς χημείας, ἀλλὰ συχνὰ συμπεριλαμβάνονται σ' αὐτὴν, ἐπειδὴ χρησιμοποιοῦν πηγὲς ραδιενεργείας, ραδιενεργὰ νουκλεΐδια καὶ ἀνάλογες τεχνικὲς μετρήσεως. Οἱ κλάδοι αὐτοὶ εἶναι:

5. Ἀκτινοχημεία (Radiation Chemistry)

Μελέτες χημικῶν ἀντιδράσεων, πὸν προκαλοῦνται ἀπὸ ὑψηλῆς ἐνεργείας ἰονίζουσες ἀκτινοβολίες.

Οἱ μελέτες αὐτὲς ἀσχολοῦνται κυρίως μὲ τὶς ἀρχικὰ σχηματιζόμενες χημικὲς (μοριακὲς) ρίζες καὶ τὴν τύχη τους.

Τὰ ἀποτελέσματα αὐτὰ τῶν ἰονίζουσῶν ἀκτινοβολιῶν ἀνακαλύφθηκαν τὸ 1911 ἀπὸ τοὺς P. Curie καὶ A. Debierne, οἱ ὁποῖοι βρῆκαν ὅτι σὲ διαλύματα, πὸν περιείχαν ράδιο, παρήγοντο ὑδρογόνο καὶ ὀξυγόνο.

6. Τεχνική με ίχνηθέτες (Tracer Techniques)

Χημικές, φυσικές, βιολογικές, Ιατρικές και άλλες μελέτες με Ισοτοπικά μίγματα διαφορετικής συστάσεως από τα φυσικά.

Αυτή είναι η εφαρμογή «έπισημασμένων» ατόμων, με χρησιμοποίηση κυρίως ραδιενεργών ή πολλές φορές και σταθερών νουκλεϊδίων για σκοπούς έπισημάνσεως. Οι μελέτες αυτές απαιτούν όχι μόνο τέλεια γνώση των χρησιμοποιούμενων ειδικών τεχνικών, αλλά πρώτ' απ' όλα ευρεία γνώση του πεδίου, στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα έπισημασμένα άτομα.

Η τεχνική των ίχνηθετών θεμελιώθηκε το 1912 από τους G. O. Hevesy και F. Paneth, όταν απέδειξαν ότι τα «στοιχεία» $RaD(^{210}Pb)$ και $ThB(^{212}Pb)$ ήταν στην πραγματικότητα Ισότοπα και δέν μπορούσαν να διαχωρισθούν το ένα από το άλλο. Καθώς και τα δύο αυτά ραδιενεργά είδη ατόμων είναι Ισότοπα του μολύβδου, μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των χημικών αντιδράσεων του σταθερού φυσικού μολύβδου.

Έπειδή θάταν τελείως αδύνατο στον περιορισμένο αυτό χώρο να εξετάσω λεπτομερώς όλους τους παραπάνω κλάδους, σκέφθηκα να σκιαγραφήσω μόνο, πολύ σύντομα, την έρευνα, που γίνεται σ' ένα από τα πολλά προγράμματα του Ίνστιτούτου μας στη Νορβηγία. Το πρόγραμμα που διάλεξα έχει σχέση με σπουδές τόσο στην καθαρώς πυρηνική χημεία όσο και στην ραδιοχημεία.

Θα συζητήσουμε λοιπόν τώρα πώς γίνεται η έρευνα για την ανακάλυψη βραχυβίων ραδιενεργών νουκλεϊδίων. Τέτοιες μελέτες μās δίνουν πληροφορίες όχι μόνο για τα ίδια τα νουκλεϊδια, αλλά και για τις Ιδιότητες της έπιφανείας πυρηνικής ένεργείας. Ακόμη οι μελέτες αυτές σχετίζονται στενά με τις μελέτες του φαινομένου της σχάσεως, δηλ. την διάσπαση των ατομικών πυρήνων σε δυο περίπου ίσα μέρη. Με τις μελέτες αυτές θα αντιληφθῆ κανείς λίγες πλευρές από το ευρύ πεδίο έρεύνης στην πυρηνική χημεία.

Πυρηνική σχάση

Στις περισσότερες περιπτώσεις μιὰ πυρηνική αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μικρού μόνον αριθμού προϊόντων, που σε μιὰ καμπύλη, ή όποια παριστᾶ το πυρηνικό φορτίο έναντι της πυρηνικής μάζης, βρίσκονται όλα κοντά στην θέση του στόχου, που βομβαρδίσαμε. Αποτέλεσμα είναι τα προϊόντα αυτά να έχουν μάλλον μεγάλο χρόνο ύποδιπλασιασμού και συνεπώς να μπορούν να απομονωθούν και να μελετηθούν με τις συνηθισμένες μεθόδους της ραδιοχημικής αναλύσεως και της ραδιενεργείας.

Η εικόνα που δίνουν τα προϊόντα της πυρηνικής σχάσεως είναι τελείως διαφορετική. Ο αριθμός των προϊόντων είναι μεγάλος. Στην περίπτωση π. χ. της σχάσεως του U-235 με θερμικά νετρόνια σχηματίζονται 10 - 15 Ισότοπα από κάθε στοιχείο της σειράς χαλ-

κός μέχρι τέρβιο (σειράς που περιλαμβάνει 35 περίπου στοιχεία). Τα προϊόντα αυτά είναι πολύ άσταθη, έπειδή όλα περιέχουν μεγάλο αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους και τούτο γιατί ο αριθμός των νετρονίων στον πυρήνα του ούρανίου είναι μεγάλος. Πολλά λοιπόν από τα προϊόντα της σχάσεως έχουν πολύ μικρό χρόνο ύποδιπλασιασμού και διασπώνται ραδιενεργώς εκπέμποντας σωματίδια β^- , πράγμα που συνδέεται με την μετατροπή νετρονίων σε πρωτόνια στον πυρήνα και έτσι το αποτέλεσμα είναι μιὰ πιό σταθερή σχέση αριθμού νετρονίων - πρωτονίων. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται μέχρις ότου έπιτευχθῆ σταθερότης και συνεπώς έχουμε μιάν άλυση διασπάσεων των προϊόντων της σχάσεως. Η άλυση αυτή π.χ. στην περίπτωση της μάζης 141 έχει την έξης μορφή: "Άγνωστο είδος \rightarrow $^{54}_{54}Xe$ 2s \rightarrow $^{55}_{55}Cs$ 25s \rightarrow $^{56}_{56}Ba$ 18m \rightarrow $^{57}_{57}La$ 3,9h \rightarrow $^{58}_{58}Ce$ 32,5d \rightarrow $^{59}_{59}Pr$ σταθερό.

Πέντε χρόνια χρειάστηκαν οι κορυφαίοι πυρηνικοί έπιστήμονες του κόσμου για να αντιληφθούν το μοναδικό αυτό φαινόμενο. Οι μελέτες άρχισαν το 1934, όταν ο E. Fermi και οι συνεργάτες του βομβάρδισαν για πρώτη φορά ούράνιο με νετρόνια, και κορυφώθηκαν το 1939, όταν το φαινόμενο της σχάσεως ανακαλύφθηκε από τους O. Hahn και F. Strassmann, με τον πιό δύσκολο τρόπο που μπορούσε να ακολουθηθῆ, δηλ. με την χημική μέθοδο, αφού ο «εύκολος» τρόπος, με τη βοήθεια φυσικών μεθόδων, είχε άποτύχει.

Κάθε σχάση δίνει δύο πρωτογενή προϊόντα, τα θραύσματα της σχάσεως, που οι μάζες και τα φορτία τους δίνονται από τις σχέσεις:

$$A_1 + A_2 = A_f \text{ και } Z_1 + Z_2 = Z_f$$

Για μιὰ ώρισμένη διαίρεση της μάζης A_f υπάρχουν πολλές δυνατότητες διαιρέσεως του φορτίου Z_f και αντιστρόφως. Καθώς τα προϊόντα είναι ραδιενεργά, κάθε προϊόν σχάσεως μπορεί να σχηματισθῆ με δυο τρόπους.

α) Ως άμεσο αποτέλεσμα της ίδιας της σχάσεως, όποτε λέγεται πρωτογενώς σχηματιζόμενο.

β) Ως προϊόν ραδιενεργού διασπάσεως από ένα προηγούμενο μέλος της αλύσεως με την ίδια μάζα και τότε λέγεται δευτερογενώς σχηματιζόμενο.

Έτσι για να έχουμε πληροφορίες σχετικά με την φύση του φαινομένου της σχάσεως δέν φτάνει μόνο να διαπιστώσουμε την φύση των προϊόντων, αλλά και να καθορίσουμε τον τρόπο του σχηματισμού τους ή όπως λέμε τις πρωτογενείς και συσσωρευμένες αποδόσεις τους, όπως έπίσης και την κατανομή αυτών των αποδόσεων βάσει του φορτίου και της μάζης των θραυσμάτων. Τέλος πρέπει να βρούμε πώς οι κατανομές αυτές έξαρτώνται από το σχάσιμο νουκλεϊδιο και την ένεργεια. Οι μελέτες αυτού του τύπου αποτελούν την κυρία περιοχή της πυρηνικής χημείας.

Όστόσο για να αποκτήσουμε άρκετες γνώσεις πάνω στο φαινόμενο της σχάσεως, πρέπει να μελετήσουμε ακόμη την ταχύτητα, την κινητική ένεργεια, την γωνιακή κατανομή, την έκπομπή σωματιδίων και τα ήλεκτρο-

νικά φορτία τῶν θραυσμάτων τῆς σχάσεως, ὅπως ἐπίσης καὶ τὶς ἀντίστοιχες κατανομὲς ἐν σχέσει μὲ τὴν μᾶζα καὶ τὸ φορτίο τῶν θραυσμάτων, τὸν τύπο τοῦ σχασίμου νουκλεϊδίου καὶ τὴν ἐνέργεια, πὺ προκαλεῖ σχάση. Οἱ τελευταῖες αὐτὲς μελέτες ἀποτελοῦν τὴν περιοχὴ τῆς Πυρηνικῆς Φυσικῆς.

Γιὰ τὴν ἐπιτυχία στὶς μελέτες αὐτὲς εἶναι βέβαια ἀπαραίτητη μιὰ στενὴ συνεργασία μεταξὺ χημείας καὶ φυσικῆς.

Ραδιοχημικὲς μελέτες βραχυβίων νουκλεϊδίων

Ἡ χημικὴ μέθοδος μελέτης τοῦ φαινομένου τῆς σχάσεως στηρίζεται κυρίως στὴ χρῆση ραδιοχημικῶν μεθόδων. Οἱ ποσότητες τῶν προϊόντων, πὺ ἔχουμε στὴ διάθεσή μας εἶναι ἐξαιρετικὰ μικρὲς, 10^{-10} — 10^{-18} g ἢ καὶ ἀκόμη μικρότερες. Ἐπὶ πλέον τὰ προϊόντα εἶναι ραδιενεργὰ καὶ συνεπῶς ἐξαφανίζονται ὕστερα ἀπὸ μερικὸς χρόνους ὑποδιπλασιασμοῦ, δίνοντας προϊόντα μὲ διαφορετικὲς φυσικὲς καὶ χημικὲς ιδιότητες. Ἔτσι ἔχουμε νὰ ἀντιμετωπίσουμε πολλὰ προβλήματα στὴν ἔρευνα τῶν ραδιενεργῶν αὐτῶν νουκλεϊδίων, κυρίως ὅταν ἐνδιαφερόμαστε γιὰ νουκλεΐδια μὲ χρόνο ὑποδιπλασιασμοῦ τῆς τάξεως τῶν λεπτῶν τῆς ὥρας ἢ καὶ λιγώτερο. Στὶς περιπτώσεις αὐτὲς πρέπει κανεῖς νὰ «συναγωνισθῆ μὲ τὸν χρόνο».

Ἐξ αἰτίας τῆς ἐξαιρετικὰ χαμηλῆς τους συγκεντρώσεως, τὰ νουκλεΐδια αὐτὰ δὲν μποροῦν νὰ διαχωρισθοῦν χωρὶς τὴ χρῆση φορέων ἢ συλλογέων. Γιὰ τὸν σκοπὸ αὐτὸ προσθέτουμε ποσότητες τῆς τάξεως τοῦ μικρογραμμίου (ἢ καὶ μικρότερες) σταθερῶν ἰσοτόπων τοῦ αὐτοῦ στοιχείου ἢ ἐνὸς στοιχείου μὴ ἰσοτοπικοῦ, ἀλλὰ πὺ ἔχει ιδιότητες ἀνάλογες μὲ ἐκεῖνες τοῦ ραδιενεργοῦ νουκλεϊδίου, πὺ μᾶς ἐνδιαφέρει.

Τὰ προστιθέμενα μὴ ραδιενεργὰ ἄτομα ὑποτίθεται ὅτι «συμπαρᾶσφουρν» μαζί τους τὰ ραδιενεργὰ ἄτομα στὶς διάφορες ἐπιτελούμενες χημικὲς ἀντιδράσεις. Ὅταν ἐνδιαφερόμαστε γιὰ τὸν προσδιορισμὸ ἀποδόσεων πρέπει νὰ εἶμαστε ἀπόλυτα βέβαιοι ὅτι κατὰ τὰ διάφορα στάδια τῆς ἐργασίας λαμβάνει χώρα πλήρης ἀνταλλαγὴ μεταξὺ τῶν ραδιενεργῶν ἀτόμων καὶ τῶν ἀτόμων τῶν φορέων, γιὰτὶ τότε μόνο τὰ εἶδη αὐτὰ θὰ ἀκολουθοῦν πλήρως τὸ ἓνα τὸ ἄλλο.

Γιὰ νὰ ἐπιτύχουμε πλήρη ἀνταλλαγὴ χρησιμοποιοῦμε ἰσοτοπικοὺς φορεῖς μαζί μὲ συλλογεῖς. Ἀκόμη πλήρης ἀνταλλαγὴ συμβαίνει ὅταν τόσο τὰ σταθερά, ὅσο καὶ τὰ ραδιενεργὰ ἄτομα βρίσκονται στὴν αὐτὴ, ἀπλῆ χημικὴ κατάσταση, μὲ τὴν προϋπόθεση ὅτι δὲν ὑπάρχουν μέσα συμπλέξεως καὶ ὅτι σχηματισμὸς κολλοειδῶν, ὑδρόλυσις κλπ. δὲν λαμβάνουν χώρα. Ὅταν οἱ προϋποθέσεις αὐτὲς δὲν ὑπάρχουν καὶ ὅταν τὰ στοιχεῖα ἐμφανίζονται περισσότερες ἀπὸ μιὰ καταστάσεις ὀξειδώσεως, τότε πρέπει νὰ ληφθοῦν εἰδικὲς προφυλάξεις γιὰ τὴν ἐξασφάλιση πλήρους ἀνταλλαγῆς, προ-

φυλάξεις πὺ συχνὰ συμβαίνει νὰ εἶναι πολὺ δύσκολο νὰ ληφθοῦν.

Γιὰ τὴν ἀνάλυση τῶν τελικῶν προϊόντων ἀπαιτεῖται πολλὲς φορὲς ἐξαιρετικὰ ἕψηλὸς βαθμὸς καθαρότητος. Δηλαδὴ ὁ λόγος τῶν ραδιενεργῶν ἰσοτόπων τοῦ στοιχείου, πὺ μᾶς ἐνδιαφέρουν, πρὸς τὰ ραδιενεργὰ ἰσότοπα ὄλων τῶν ἄλλων στοιχείων στὸ δείγμα, πρέπει νὰ εἶναι μεγάλος. Ὁ λόγος αὐτός, πὺ εἶναι ἡ ραδιοχημικὴ καθαρότης, πρέπει νὰ ἔχη τουλάχιστον τὴν τιμὴ 10^9 — 10^8 , συχνὰ δὲ ἀπαιτοῦνται ἀκόμη μεγαλύτερες τιμές.

Ἀκόμη καὶ μέχρι τελευταῖα οἱ ραδιοχημικοὶ τρόποι κατεργασίας, πὺ ἀναπτύχθηκαν γιὰ τὴν ἀπομόνωση καὶ τὴν μελέτη τῶν ραδιενεργῶν νουκλεϊδίων εἶχαν βασισθεῖ κυρίως σὲ ἐπανεπιλημμένες καθιζήσεις, ἐναλλασσόμενες μὲ τεχνικὲς καθαρισμοῦ. Στὶς τελευταῖες χρησιμοποιοῦνται ἀνασταλτικοὶ φορεῖς (hold back carriers) γιὰ τὴν παρεμπόδιση τῆς καθιζήσεως ἀνεπιθυμητῶν νουκλεϊδίων ἢ σαρωτῆς (scavengers) γιὰ τὴν ἀπομάκρυνση ἀνεπιθυμητῶν νουκλεϊδίων ἀπὸ ἓνα διάλυμα.

Μιὰ τέτοια μέθοδος, ὡστόσο, εἶναι ἀργὴ καὶ κοπιώδης. Γι' αὐτὸ καὶ οἱ μελέτες τῶν βραχυβίων ραδιενεργῶν ἰσοτόπων παρακωλύθηκαν σημαντικὰ ἀπὸ τὴν ἔλλειψη καταλλήλων μεθόδων.

Πληροφορίες σχετικὲς μὲ βραχύβια νουκλεΐδια γίνονται ὄλο καὶ περισσότερο ἀπαραίτητες, ὄχι μόνο σὲ μελέτες σχάσεως, ἀλλὰ καὶ σὲ μελέτες σχετικὲς μὲ τὴν ἐπιφάνεια πυρηνικῆς ἐνεργείας, περιέργους τρόπους ραδιενεργοῦ διασπάσεως, π.χ. ἐκπομπὴ καθυστερημένων νετρονίων, κ.ἄ.

Γιὰ τὸν λόγο αὐτὸ ἔχουν γίνεῖ ἐντατικὲς ἔρευνες γιὰ τὴν εὑρεση νέων μεθόδων. Πολὺ κατάλληλες βρέθηκαν ἡ ἐκχύλιση καὶ ἡ χρωματογραφία ἰονοανταλλαγῆς.

Καὶ οἱ δυὸ μέθοδοι μποροῦν νὰ ἐφαρμοσθοῦν σὲ ἔχνη ἰσοτόπων, σὰν αὐτὰ πὺ ἀντιμετωπίζουμε στὶς μελέτες μας κι' ἀκόμη μποροῦν νὰ γίνουν γρήγορες καὶ εἰδικές. Γιὰ σκοποὺς καθαρισμοῦ ἡ ἐκχύλιση μπορεῖ νὰ ἐπαναληφθῆ μὲ λίγο διαφορετικὲς συνθήκες κάθε φορά, χωρὶς μεγάλη ἀπώλεια χρόνου. Οἱ μέθοδοι πὺ στηρίζονται στὴν χρωματογραφία ἰονοανταλλαγῆς μποροῦν νὰ γίνουν πολὺ ἐκλεκτικὲς, ἀλλὰ δυνατὸν νὰ ἀπαιτήσουν κάπως περισσότερο χρόνο ἀπὸ τὶς μεθόδους ἐκχύλισεως.

Οἱ μέθοδοι πὺ ἀναφέραμε ὑπόσχονται τὸ χαρακτηρισμὸ καὶ τὴν ἀπομόνωση πολλῶν βραχυβίων προϊόντων σχάσεως. Αὐτὸ βέβαια ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸν ἀπαιτούμενο βαθμὸ καθαρότητος καὶ τὸν διαθέσιμο χρόνο. Πράγματι τὰ τελευταῖα χρόνια οἱ γνώσεις μας γιὰ τὰ βραχύβια ραδιενεργὰ νουκλεΐδια ἔχουν πάρα πολὺ ἀυξηθεῖ, χάρι σὲ μεθόδους, πὺ ἀναπτύχθηκαν μὲ βάση τὴν ἐκχύλιση καὶ τὴν χρωματογραφία ἰονοανταλλαγῆς, συχνὰ κατὰλληλα συνδυασμένες μὲ ταχεῖς ἀντιδράσεις καθιζήσεως.

Ἐνα ραδιενεργὸ νουκλεΐδιο χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὸν ἀτομικὸ του ἀριθμὸ — πὺ μᾶς δίνει

τὸ στοιχείο στὸ ὁποῖο ἀνήκει — τὸν μαζικὸ τοῦ ἀριθμὸ — πὺ μᾶς δίνει τὸ ἰσότοπο τοῦ στοιχείου — καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ διασπάσεώς του, ὅπως χρόνος ὑποδιπλασιασμοῦ, τρόπο διασπάσεως καὶ ἐνέργεια διασπάσεως.

Ἡ γνώση τῶν δεδομένων αὐτῶν εἶναι ἀπαραίτητη προκειμένου νὰ μελετήσουμε λεπτομερῶς πυρηνικὲς ἀντιδράσεις καὶ φαινόμενα, πὺ ἀπα. τὸν μετρήσεις ποσοτήτων (ἀποδόσεις) νουκλεϊδίων. Εἰδικὰ σὲ μελέτες σχάσεως, μπορεῖ νὰ εἶναι πολὺ δύσκολο, συχνὰ ἀδύνατο, νὰ μετρήσουμε ἀποδόσεις, πρᾶγμα πὺ ἐξαρτᾶται ἀπὸ τοὺς χρόνους ὑποδιπλασιασμοῦ τῶν νουκλεϊδίων, πὺ μᾶς ἐνδιαφέρουν.

Μὲ ραδιοχημικὲς μεθόδους προσδιορίζουμε ἀπλῶς τὸν ἀτομικὸ ἀριθμὸ τῶν διαχωρισθέντων καὶ ἀπομονωθέντων νουκλεϊδίων. Ὁ μαζικὸς ἀριθμὸς τοὺς προσδιορίζεται συνήθως μὲ τὸν καθορισμὸ τῆς σχέσεως πὺ ἔχουν μὲ ἄλλα γνωστὰ νουκλεϊδία. Αὐτὸ γίνεται βρίσκοντας ποῖο εἶναι τὸ θυγατρικὸ προϊόν, τὸ ἐπόμενο τοῦ θυγατρικοῦ ἢ καὶ ἀκόμη ἐπόμενα προϊόντα στὴ σχετικὴ ἄλυση διασπάσεως.

Ἡ καλύτερη μέθοδος γιὰ νὰ προσδιορίσουμε τὸν χρόνο ὑποδιπλασιασμοῦ ἐνὸς ραδιενεργοῦ νουκλεϊδίου, πὺ ἔχουμε ἀποχωρίσει, εἶναι νὰ μετρήσουμε τὴ ραδιενεργειὰ του ὡς συνάρτηση τοῦ χρόνου. Ὡστόσο σὲ μελέτες σχάσεως, τὸ νουκλεϊδιο, πὺ μᾶς ἐνδιαφέρει, ἐμφανίζεται μαζὶ μὲ ἄλλα νουκλεϊδία, ἰσοτοπικὰ πρὸς αὐτὸ καὶ ἀπὸ τὰ ὁποῖα δὲν μπορεῖ νὰ διαχωρισθῆ χημικῶς. Ἐπὶ πλέον διασπώμενο ραδιενεργῶς δίνει γένεση σὲ νέα ραδιενεργὰ νουκλεϊδία κ.ο.κ. Ἐτσι, πολλὲς φορές, ἢ κατ'εὐθείαν μέτρηση τοῦ χρόνου ὑποδιπλασιασμοῦ εἶναι ἀδύνατη, ἐπειδὴ οἱ καμπύλες διασπάσεως εἶναι πολὺ πολύπλοκες καὶ δὲν μποροῦν νὰ ἀναλυθοῦν στὰ συστατικά τους. Ὑπάρχουν, ὡστόσο, δυὸ μέθοδοι πὺ μᾶς ἐπιτρέπουν νὰ ἀπλοποιήσουμε τὴν ἀνάλυση ἐνὸς ραδιενεργοῦ συνθέτου μίγματος, στὰ συστατικά του. Ἡ μιὰ μέθοδος εἶναι φυσικὴ, ἐνῶ ἡ ἄλλη εἶναι χημικὴ.

Ἡ φυσικὴ μέθοδος ἀπαιτεῖ τὴν ἀπομόνωση τῆς ἀκτινοβολίας τοῦ νουκλεϊδίου, πὺ μελετοῦμε. Αὐτὸ μπορεῖ νὰ γίνῃ, εἴτε μὲ ἐπαλογὴ τῆς ἐνεργείας τῆς ἀκτινοβολίας (φασματογραφικὲς μέθοδοι), εἴτε μελετώντας ἀκτίνες πὺ ἐπέμπονται σὲ σύμπτωση κατὰ τὴν διάσπαση τοῦ νουκλεϊδίου (μετρήσεις συμπτώσεως). Μὲ τίς μεθόδους αὐτὲς ὅμως πρέπει νὰ γνωρίζουμε τὰ χαρακτηριστικὰ διασπάσεως τοῦ νουκλεϊδίου. Ἐὰν τὰ δεδομένα αὐτὰ εἶναι γνωστά, οἱ φυσικὲς μέθοδοι εἶναι πολὺ ἀποτελεσματικὲς καὶ δίνουν πολὺ ἀκριβῆ πειραματικὰ δεδομένα.

Ἡ χημικὴ μέθοδος στηρίζεται σὲ ἐπανειλημμένους χημικοὺς ἀποχωρισμοὺς τῶν ραδιενεργῶν «ἀπογόνων», πὺ ἀναπτύσσονται σὲ διάλυμα τοῦ ἀρχικὰ καθαροῦ μητρικοῦ νουκλεϊδίου. Ὄταν οἱ «ἀπόγονοι» εἶναι γνωστοί, τὸ μητρικὸ νουκλεϊδιο χαρακτηρίζεται, κατ'ἀρχὴν τουλάχιστο, εὐκόλα. Ἡ ἐργασία πρέπει ἀπαραίτητα νὰ ἀρχίσῃ μὲ τὴν ἀπόκτηση πλη-

ροφοριῶν σχετικὰ μὲ τὰ πὺ σταθερὰ προϊόντα καὶ νὰ συνεχίσῃ ἀνεβαίνοντας στὴν ἄλυση πρὸς ὄλο καὶ πὺ βραχύβια νουκλεϊδία. Ἡ μέθοδος ὀνομάζεται στὴν ἀγγλικὴ milking. Ὄταν οἱ διαχωρισμοὶ αὐτοὶ γίνουν κατὰ σταθερὰ χρονικὰ διαστήματα, ὁ χρόνος ὑποδιπλασιασμοῦ τοῦ μητρικοῦ νουκλεϊδίου ὑπερέχεται στὴν μετρομένη ταχύτητα διασπάσεως τοῦ θυγατρικοῦ.

Ἡ μέθοδος αὐτὴ ἐκτὸς τοῦ ὅτι ἀπλοποιεῖ τὴν ἀνάλυση συνθέτων καμπυλῶν διασπάσεως, ἐλαττώνοντας τὸν ἀριθμὸ τῶν ραδιενεργῶν νουκλεϊδίων, ἔχει καὶ τὸ μεγάλο πλεονέκτημα ὅτι ἀπὸ τὸ θυγατρικὸ — ἢ ἐπόμενο προϊόν διασπάσεως — πὺ ἀπομονώνουμε, μποροῦμε νὰ καθορίσουμε καὶ τὸν μαζικὸ ἀριθμὸ τοῦ μητρικοῦ.

Ὡστόσο, σὲ πολλὲς περιπτώσεις ἢ μέθοδος εἶναι πολὺ δύσκολο νὰ ἐφαρμοσθῆ καὶ ἀπαιτεῖ πάρα πολὺ ἐργασία. Κάθε milking δίνει μόνο ἓνα σημεῖο τῆς καμπύλης διασπάσεως τοῦ μητρικοῦ. Ἡ μέθοδος ἐπίσης ἀπαιτεῖ πλήρη χημικὸ διαχωρισμὸ τοῦ θυγατρικοῦ ἀπὸ τὸ μητρικὸ.

Ἐτσι βλέπουμε ὅτι ἢ ἐφαρμογὴ τῆς μεθόδου ἀπαιτεῖ πολλὰ ἀπὸ τίς ραδιοχημικὲς διεργασίες, κυρίως σὲ ὅ,τι ἀφορᾶ ἀνταλλαγὴ, ραδιοχημικὴ καθαρότητα καὶ χημικὴ ἀπόδοση, ἢ ὁποῖα στὴν περίπτωση τοῦ διαχωρισμοῦ τοῦ θυγατρικοῦ ἀπὸ τὸ μητρικὸ πρέπει νὰ εἶναι 100%. Ἐὰν ὅμως χρησιμοποιηθῆ προσεκτικὰ, ἢ μέθοδος εἶναι πολὺ ἱκανοποιητικὴ καὶ σὲ μερικὲς περιπτώσεις ὁ μόνος δυνατὸς τρόπος προσεγγίσεως στὸ πρόβλημα τῆς μελέτης τῶν βραχυβίων νουκλεϊδίων.

Πρὶν ἀφιέρωσῃ κανεὶς σημαντικὸ χρόνο καὶ ἐργασία στὴν ἀνάπτυξη ταχέων ραδιοχημικῶν διαχωρισμῶν καὶ διεργασιῶν milking, θὰ ἦταν χρήσιμο ἂν μποροῦσε κατὰ κάποιον τρόπο νὰ ἐκτιμῆσῃ τὸν χρόνο, πὺ θὰ εἶχε στὴ διάθεσή του γιὰ νὰ ἐκτελέσει τὴν ἀνάλυση.

Αὐτὸ ἀπαιτεῖ ὑπολογισμὸ τῶν κατωτάτων ὁρίων τοῦ χρόνου ὑποδιπλασιασμοῦ τῶν ἀναμενομένων νουκλεϊδίων. Σήμερα οἱ γνώσεις μας πάνω στὴν β—διάσπαση (καὶ τὴν α—διάσπαση) βρίσκονται σὲ τέτοιο στάδιο, ὥστε αὐτὸ μπορεῖ νὰ γίνῃ.

Σὲ περιπτώσεις β—διασπάσεως, πὺ ἐνδιαφέρουν σὲ μελέτες σχάσεως, αὐτὸ γίνεται μὲ τὴν βοήθεια τῆς εἰκόνας τῆς πυρηνικῆς σταθερότητας, πὺ δίνουν οἱ παραβολικὲς ἐπιφάνειες στὸ σύστημα συντεταγμένων: μᾶζα (ἐνέργεια) τοῦ νουκλεϊδίου, ὡς συνάρτηση τοῦ ἀριθμοῦ μᾶζης καὶ τοῦ ἀριθμοῦ τῶν φορτίων.

Λαμβάνοντας ὑπ' ὄψη καὶ τίς ἐπιδράσεις κλειστῶν πυρηνικῶν στιβάδων ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας πυρηνικῆς ἐνεργείας, μποροῦμε νὰ ὑπολογίσουμε τὴν ἐνέργεια διασπάσεως γιὰ μεταπτώσεις ἀπὸ βασικὴ σὲ βασικὴ κατάσταση καὶ ἢ τιμὴ τῆς ἐνεργείας αὐτῆς μᾶς χρησιμεύει νὰ ἐκτιμῆσουμε τὸν χρόνο ὑποδιπλασιασμοῦ, στηριζόμενοι στὴν θεωρία τῆς β—διασπάσεως. Ἐὰν ὑποθέσουμε ὅτι οἱ με-

ταπτώσεις είναι επιτρεπτές, παίρνουμε ένα κατώτατο όριο του χρόνου υποδιπλασιασμού.

Με τόν τρόπο αυτό μπορεί κανείς να εκτιμήσει το κατώτατο όριο του διαθέσιμου χρόνου για χημικό διαχωρισμό και καθαρισμό των νουκλεϊδίων, που μᾶς ενδιαφέρουν, ὅπως επίσης και για milking του θυγατρικού ή άλλων προϊόντων διασπάσεως. Καθώς δὲ οἱ μεταπτώσεις στην βασική κατάσταση είναι συχνά «ἀπαγορευμένες», ένας παράγων «ἀσφαλείας» είναι συνυφασμένος με τὴν ἐκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου.

Σχόλια

Γιὰ τὴν ἐπιτυχία στις μελέτες τῆς καθαρῶς πυρηνικῆς χημείας ἀπαιτεῖται, ὅπως εἶδαμε, μεγάλη διορατικότητα καὶ ὀξυδέρκεια τόσο στὴ ραδιοχημεία ὅσο καὶ στις τεχνικές μετρήσεως, πὺν χρησιμοποιεῖ ἡ πυρηνικὴ χημεία καὶ ἡ πυρηνικὴ φυσικὴ.

Σ' αὐτὸ πρέπει νὰ προστεθῆ καὶ ἡ λεπτομερῆς γνώση τῶν χημικῶν ιδιοτήτων ὄλων τῶν στοιχείων τοῦ περιοδικοῦ συστήματος, ὅπως ἐπίσης καὶ τῆς συμπεριφορᾶς τους κάτω ἀπὸ τὶς πὺν ποικίλες συνθήκες. Γιὰ νὰ μᾶς βοηθήσουν τὰ ἀποτελέσματα τῆς καθαρῶς πυρηνικῆς χημείας νὰ καταλάβουμε τὰ βασικὰ φαινόμενα πὺν λαμβάνουν χώρα στις πυρηνικὲς ἀντιδράσεις καὶ κυβερνοῦν τὴν συμπεριφορὰ τῶν ἀτομικῶν πυρήνων, πρέπει νὰ εἴμαστε πολὺ καλὰ ἐξοικειωμένοι με πολλὰ

μέρη τῆς πυρηνικῆς φυσικῆς καὶ τῆς πυρηνικῆς θεωρίας καὶ νὰ μπορούμε νὰ χρησιμοποιήσουμε τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἔρευνας στοὺς τομείς αὐτοὺς σωστὰ καὶ κριτικὰ στις δικές μας μελέτες.

Θεωρῶ λοιπὸν ὅτι οἱ μελέτες στην πυρηνικὴ χημεία ὄχι μόνο εἶναι ἀπὸ τὶς πὺν ενδιαφέρουσες καὶ συναρπαστικὲς τῆς σύγχρονης ἐπιστήμης, ἀλλὰ καὶ ὅτι ἀνήκουν σ' ἕνα ἀπὸ τὰ πὺν κατάλληλα πεδία, στὰ ὁποῖα μπορεί κανείς νὰ ἀντιληφθῆ τὴ σπουδαιότητα τῆς συνεργασίας. Τὸ τελευταῖο αὐτὸ ὄχι μόνο ἀνάμεσα σὲ διάφορα πεδία τῆς ἐπιστήμης, με ἀποτέλεσμα νὰ δίνεται ἡ πρέπουσα προσοχὴ σὲ πεδία ἄλλα ἀπὸ ἐκεῖνο πὺν ἐργαζόμαστε, ἀλλὰ καὶ ἀνάμεσα σὲ διάφορα ἴνστιτούτα ἔρευνῶν.

Γιὰ ὁποιαδήποτε ἐπιτυχία στην ἐπιστήμη, πάντα χρειάστηκαν πολλὲς γνώσεις, ἰκανότητα, φαντασία, κριτικὴ σκέψη καὶ σκληρὴ δουλειά. Σήμερα, ὡστόσο, με τὴν γρήγορη ἀνάπτυξη τῆς ἐπιστήμης, πρέπει νὰ προσθέσουμε ὅτι ὁ ἐπιστήμων τοῦ παλαιοῦ τύπου, ὁ ἀπομονωμένος στὸν πύργο του, πρέπει νὰ βγῆ ἔξω, νὰ ἔχη εὐρύτητα πνεύματος καὶ νὰ ζητάει συνεργασία καὶ ἐπαφές. Τότε καὶ μόνο τότε, ἔχοντας τὶς ἰκανότητες πὺν ἀνέφερα πὺν πάνω, θὰ ἔχη πιθανότητα νὰ γίνῃ ἐπιστήμων ἢ savant ὅπως λένε οἱ Γάλλοι καὶ νὰ βοηθήσῃ στην πρόοδο τῆς ἐπιστήμης γιὰ τὸ καλὸ τῆς ἀνθρωπότητας.

* Τὸ ἄρθρο αὐτὸ ἔχει βασισθῆ σὲ μιὰ διάλεξη, πὺν δόθηκε στὸ *E. M. Πολυτεχνεῖο*, ὑπὸ τὴν αἰγίδα τοῦ Συμβουλίου τῆς *Εὐρώπης*. Ἡ μετάφραση ἀπὸ τὸ Ἄγγλικὸ ἔγινε ἀπὸ τὸν πυρηνικὸ χημικὸ *N. Κατσάνο*.

