

Λανθασμένες και ημιτελείς έρευνες

Ο σοβιετικός χημικός Ντ. Κ. Ντομπροσερντόφ (*D. K. Dobroserdon*) ήταν ο πρώτος επιστήμονας που ισχυρίστηκε ότι βρήκε το εκακαίσιο. Το 1925, παρατήρησε ασθενή ραδιενέργεια σε ένα δείγμα καλίου, και λανθασμένα συμπέρανε ότι εκακαίσιο μόλυνε το δείγμα. Στην πραγματικότητα όμως το δείγμα περιείχε το φυσικά υπάρχον ραδιενεργό ισότοπο ^{40}K .^[9] Τότε δημοσίευσε μια θέση για τις προγνώσεις του για τις ιδιότητες του εκακαισίου, που ο ίδιος ονόμασε «ρώσιο» (*russium*), από το όνομα της πατρίδας του (Ρωσία).^[10] Σύντομα αργότερα, ο Ντομπροσερντόφ άρχισε να εστιάζει στη διδακτική του σταδιοδρομία, στο Πολυτεχνικό Ίδρυμα της Οδησσού (*Polytechnic Institute of Odessa*) και δεν επιδίωξε επιπλέον έρευνα πάνω στο εκακαίσιο.^[9]

Την επόμενη χρονιά (1926), οι άγγλοι χημικοί Τζεράλντ Ντρας (*Gerald J. F. Druce*) και Φρέντερικ Λόουρινγκ (*Frederick H. Loring*) ανέλυσαν φωτογραφίες ακτίνων X δείγματος θεικού μαγγανίου (MnSO_4).^[10] Παρατήρησαν φασματικές γραμμές για τις οποίες υπέθεσαν ότι ανήκαν στο εκακαίσιο. Ανακοίνωσαν, τότε, την ανακάλυψη του χημικού στοιχείου με ατομικό αριθμό 87, προτείνοντας την ονομασία «αλκαλίνιο» (*alkalinium*), αφού θα ήταν (με βάση τις γνώσεις της εποχής) το βαρύτερο αλκαλιμέταλλο.^[9]

Το 1930, ο αμερικανός Φρεντ Άλλισον (*Fred Allison*), του Πολυτεχνικού Ιδρύματος της Αλαμπάμα, ισχυρίστηκε ότι ανακάλυψε το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 87, όταν αναλύοντας πολλουσίτη και λεπιδολίτη, χρησιμοποιώντας τη μαγνητοοπτική συσκευή του. Ο Άλλισον ζήτησε να ονομαστεί βιργίνιο (*virginium*), από τη γενέτειρα πολιτεία του, Βιρτζίνια, μαζί με τα χημικά σύμβολα Vi και Vm.^{[10][11]} Το 1934, ο ΜακΦέρσον του Πανεπιστημίου του Μπέρκλεϋ ανασκεύασε την αποτελεσματικότητα της συσκευής του Άλλισον, και επομένως και την ισχύ της ανακάλυψής του.^[12]

Το 1936 ο ρουμάνος φυσικός Χόρια Χουλουμπέι (*Horia Hulubei*) και η Γαλλίδα συναδέλφισσά του Υβέτ Καυχοΐς (*Yvette Cauchois*), επίσης ανέλυσαν δείγματα πολλουσίτη, χρησιμοποιώντας συσκευή ακτίνων X υψηλής ευκρίνειας (για την εποχή τους, τουλάχιστον).^[9] Παρατήρησαν αρκετές ασθενείς γραμμές εκπομπής, που υπέθεσαν ότι ανήκαν στο χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 87, και ανέφεραν την ανακάλυψή τους, προτείνοντας το όνομα μολδάβιο (*moldavium*), μαζί με το χημικό σύμβολο Ml, από την ονομασία της Μολδαβίας, που ήταν η γενέτειρα περιοχή του Χουλουμπέι.^[10] (η οποία Μολδαβία τότε ήταν ρουμανική επαρχία). Το 1937, η εργασία του Χουλουμπέι δέχτηκε την κριτική του αμερικανού φυσικού Χιρστ Τζούνιορ, που απέρριψε τις ερευνητικές μεθόδους του Χουλουμπέι. Ο Χιρστ ήταν σίγουρος το εκακαίσιο δεν επρόκειτο να βρεθεί στη φύση, και ότι ο Χουλουμπέι παρατήρησε γραμμές φάσματος ακτίνων X υδραργύρου ή βισμούθιου. Ο Χουλουμπέι επέμεινε ότι τόσο η συσκευή ακτίνων X που είχε, όσο και οι μέθοδοί του ήταν πολύ ακριβείς για ένα τέτοιο λάθος. Εξαιτίας αυτής της διαμάχης, ο νομπελίστας Ζαν Μπαπτίστ Περρίν (*Jean Baptiste Perrin*) και μέντορας του Χουλουμπέι, ενέκρινε το μολδάβιο ως πραγματικό εκακαίσιο έναντι της (τότε) πρόσφατης ανακάλυψης του φραγκίου από τη Μαργαρίτα Περέ. Η Περέ με επίπονες προσπάθειες για να πετύχει επαρκή ακρίβεια και λεπτομέρεια έκρινε την εργασία του Χουλουμπέι, με αποτέλεσμα τελικά να πιστωθεί αυτή και μόνο την ανακάλυψη του χημικού στοιχείου με ατομικό αριθμό 87.^[9] Όλες οι προηγούμενες υποτιθέμενες ανακαλύψεις του εκακαισίου απέτυχαν εξαιτίας της πολύ περιορισμένης ημιζωής του φραγκίου.^[10]

Η ανάλυση της Περέ

Το εκακαίσιο ανακαλύφθηκε στις 7 Ιανουαρίου 1939 από τη Μαργαρίτα Περέ Ιδρύματος Κιουρί, στο Παρίσι,^[13] όταν καθάρισε δείγμα ^{227}Ac , που είχε ήδη αναφερθεί ότι έχει ενέργεια διάσπασης 220 keV. Η Περέ σημείωσε σωματίδια διάσπασης με ενεργειακό επίπεδο κάτω των 80 keV. Η Περέ θεώρησε ότι αυτή η δραστηριότητα διάσπασης μπορεί να έχει προκληθεί από ένα προηγούμενως αταυτοποίητο προϊόν διάσπασης, κάποιο που είχε διαχωριστεί κατά τη διάρκεια του καθαρισμού, αλλά προστέθηκε ξανά από τη διάσπαση του καθαρού ^{227}Ac . Διάφορες δοκιμές εξουδετέρωσαν τις πιθανότητες το άγνωστο χημικό στοιχείο να ήταν θόριο, ράδιο, μόλυβδος, βισμούθιο, ή θάλλιο. Το νέο (τότε) προϊόν είχε χημικές ιδιότητες αλκαλιμετάλλου, όπως να συγκαθιζάνει με τα άλατα κασίου. Αυτό οδήγησε την Περέ να πιστέψει ότι ήταν το χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 87, που παράχθηκε με α -διάσπαση από το ^{227}Ac .^[8] Έπειτα, η Περέ αποπειράθηκε να καθορίσει την αναλογία της β -διάσπασης προς την α -διάσπαση στο ^{227}Ac . Η πρώτη της δοκιμή έβγαλε για την α -διάσπαση ποσοστό 0,6%, ενώ αργότερα αυτό διορθώθηκε σε 1%.^[14]

Η Περέ ονόμασε το νέο (τότε) ισότοπο ακτίνιο-K (ενώ τώρα αναφέρεται ως ^{223}Fr).^[8] Αργότερα, το 1946 πρότεινε την ονομασία κάτιο (*catium*, Cm) για το νεοανακαλυμμένο της (τότε) χημικό στοιχείο, καθώς, όπως πίστευε, θα είχε το πιο ηλεκτροθετικό κατιόν απ' όλα τα χημικά στοιχεία. Η Ειρήνη Ζολιότ-Κουρί (*Irène Joliot-Curie*), μια από τις επιβλέποντες την



Αυτό το δείγμα ουρανίτη περιέχει περίπου 100.000 άτομα ($3,3 \cdot 10^{-20}$ γραμμάρια) ^{223}Fr , ανεξάρτητα από το χρόνο παραμονής^[4] (γιατί το φράγκιο παράγεται και διασπάται συνεχώς).

Περέ, αντιτάχθηκε στην ονομασία, εξαιτίας της έννοιας του *cat* αντί *cation*. Επιπλέον, το χημικό σύμβολο που προτάθηκε είχε ήδη κατοχυρωθεί στο κιούριο.^[8] Τότε, η Περέ πρότεινε την ονομασία φράγκιο (*francium*), από το όνομα της πατρίδας τους (*France*). Αυτό το όνομα υιοθετήθηκε επίσημα το 1949 από την IUPAC.^[7] Αρχικά υιοθετήθηκε το χημικό σύμβολο Fa, αλλά αυτό διορθώθηκε σύντομα αργότερα σε Fr.^[15] Το φράγκιο ήταν το τελευταίο χημικό στοιχείο που ανακαλύφθηκε στη φύση. Τα δύο προηγούμενα ήταν το άφνιο (Hf) και το ρήνιο (Re).^[8]

Τα επόμενα που ανακαλύφθηκαν στην πραγματικότητα συντέθηκαν. Παραπέρα έρευνα πάνω στη δομή του φραγκίου έγινε, μεταξύ άλλων, από το Συλβαίν Λίμπερμαν και τη ομάδα του, στο CERN, κατά τις δεκαετίες 1970 και 1980.^[16]

Ισότοπα

Υπάρχουν 34 γνωστά ισότοπα του φραγκίου, με ατομικές μάζες που κυμαίνονται από το 199 ως το 232.^[17] Το φράγκιο έχει επτά (7) μετασταθή πυρηνικά ισομερή.^[5] Τα ισότοπα ^{223}Fr και ^{221}Fr είναι τα μόνα ισότοπα του στοιχείου που υπάρχουν στη φύση, παρόλο που το πρώτο (^{223}Fr) είναι κατά πολύ πιο συνηθισμένο.^[18]

Το ^{223}Fr είναι το πιο σταθερό ισότοπο του στοιχείου, με ημιζωή 21,8 λεπτά,^[5] και είναι πολύ απίθανο πως κάποιο άλλο ισότοπο του φραγκίου με μακρύτερη ημιζωή πρόκειται στο μέλλον να ανακαλυφθεί ή να συντεθεί.^[14] Το ^{223}Fr είναι το πέμπτο (5°) προϊόν της σειράς ραδιενεργού διάσπασης του ακτινίου (Ac), ως θυγατρικό του ισοτόπου ^{227}Ac .^[19] Το ^{223}Fr , με τη σειρά του, διασπάται σε ^{223}Ra με β-διάσπαση, με ενέργεια διάσπασης 1,149 MeV, μαζί με μια ελάσσονα (0,006 %) α-διασπαστική οδό σε ^{219}At , με ενέργεια διάσπασης 5,4 MeV.^[20]

Το ^{221}Fr έχει ημιζωή 4,8 λεπτά.^[5] Είναι το ένατο (9°) προϊόν της διασπαστικής σειράς του ποσειδωνίου (Np), ως θυγατρικό του ισοτόπου ^{225}Ac .^[19] Το ^{221}Fr διασπάται σε ^{217}At , με ενέργεια διάσπασης 6,457 MeV.^[5]

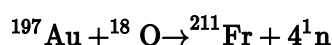
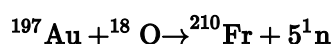
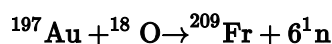
Το λιγότερο σταθερό ισότοπο βασικής κατάστασης είναι το ^{215}Fr , με ημιζωή 120 ns. Δίνει α-διάσπαση σε ^{211}At ,^[5] με ενέργεια διάσπασης 9,54 MeV. Το μετασταθές ισομερές $^{215\text{m}}\text{Fr}$ είναι ακόμη λιγότερο σταθερό, με ημιζωή μόλις 3,5 ns.^[21]

Παραγωγή

Από χρυσό και οξυγόνο

Το φράγκιο μπορεί να συντεθεί με αντίδραση πυρηνικής σύντηξης, όταν ^{197}Au βομβαρδιστεί με ακτίνα ^{18}O , που επιταχύνθηκε σε γραμμικό επιταχυντή, μια διεργασία που αρχικά αναπτύχθηκε από το τμήμα Φυσικής του Πολιτειακού Πανεπιστημίου της Νέας Υόρκης στο Στόνυ Μπρουκ (*State University of New York at Stony Brook*), το 1995.^[22]

Εξαρτώμενο από την ενέργεια της ακτίνας οξυγόνου, η αντίδραση αποδίδει ισότοπα φραγκίου με ατομικές μάζες 209, 210 και 211:



Τα παραγόμενα άτομα του φραγκίου αφήνουν το χρυσό στόχο ως ιόντα, τα οποία ουδετεροποιούνται μετά από σύγκρουση με ύτριο και μετά απομονώνονται με μαγνητοοπτική παγίδα (*Magneto-Optical Trap*, *MOT*) σε κατάσταση αέριας διασποράς.^[23]

Παρόλο που τα άτομα φραγκίου μένουν στην παγίδα για περίπου 30 δευτερόλεπτα πριν δραπετεύσουν ή υποστούν ραδιενεργή διάσπαση, η διεργασία παρέχει ένα συνεχές ρεύμα φρέσκων ατόμων. Το αποτέλεσμα είναι μια σταθερή κατάσταση που περιέχει μέτρια σταθερό αριθμό ατόμων φραγκίου για πολύ μακρύτερο χρονικό διάστημα.^[23]

Η αρχική συσκευή παγίδευε μέχρι μερικές χιλιάδες άτομα, αλλά μεταγενέστερη βελτιωμένου σχεδιασμού συσκευή μπορούσε να παγιδεύσει ως περίπου 300.000 άτομα φραγκίου.^[3]

Ευαίσθητες μετρήσεις του φωτός που εκπέμπτηκε και απορροφήθηκε από τα παγιδευμένα άτομα παρείχε τα πρώτα πειραματικά αποτελέσματα για διάφορες μεταπτώσεις ανάμεσα στα ατομικά ενεργειακά επίπεδα στο φράγκιο. Οι αρχικές μετρήσεις δείχνουν πολύ καλά συμφωνία ανάμεσα στις πειραματικές τιμές και στους υπολογισμούς που βασίστηκαν στην κβαντική θεωρία. Ερευνητικό πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας αυτήν την παραγωγική μέθοδο, επανατοποθετήθηκε στο TRIUMF το 2012, όπου πάνω από 10^6 άτομα φραγκίου κρατήθηκαν για ένα χρονικό διάστημα, συμπεριλαμβάνοντας (σχετικά) τεράστιες ποσότητες ^{209}Fr , και επιπρόσθετα ^{207}Fr και ^{221}Fr .^{[24][25]}

Άλλες μέθοδοι

Άλλες συνθετικές μέθοδοι συμπεριλαμβάνουν βομβαρδισμό ράδιου με νετρόνια και βομβαρδισμό θορίου με δευτερόνια (D^+), ή με ιόντα ηλίου.^[14]

Επίσης, το ^{223}Fr μπορεί να απομονωθεί από το μητρικό ^{227}Ac . Το φράγκιο γίνεται γαλάκτωμα με έκλυση με (μείγμα) χλωριούχου αμμωνίου (NH_4Cl) και τριοξειδίου του χρωμίου (CrO_3) από εναλλάκτη κατιόντων που περιέχει ακτίνιο. Το γαλάκτωμα αυτό καθαρίζεται περνώντας μέσω διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), που είναι «φορτωμένο» με θειικό βάριο (BaSO_4).^[26]

Το 1996, η ομάδα Στόνυ Μπρουκ παγίδευσε 3.000 άτομα φραγκίου στη MOT τους, που όμως ήταν αρκετά ώστε μια βιντεοκάμερα να μπορεί να συλλάβει το φως που έκπεμπαν τα άτομα αυτά, μέσω του φαινομένου του φθορισμού.^[3] Το φράγκιο δεν έχει ποτέ (ως τώρα) συντεθεί σε ποσότητες αρκετά μεγάλες ώστε να αρκούν για να ζυγιστούν.^{[4][7][27]}

Χαρακτηριστικά

Όπως προαναφέρθηκε, το φράγκιο είναι ένα από τα πιο ασταθή φυσικά υπάρχοντα χημικά στοιχεία. Το πιο μακρόβιο ισότοπό του, το ^{223}Fr , έχει ημιζωή μόλις 22 λεπτών. Το μόνο συγκρίσιμο χημικό στοιχείο είναι το αστάτιο, του οποίου το μακροβιότερο φυσικό ισότοπο είναι το ^{219}At , που είναι θυγατρικό του ^{223}Fr , μετά από α -διάσπαση, έχει ημιζωή μόλις 56 δευτερολέπτων. Ωστόσο, υπάρχει το συνθετικό ισότοπο ^{210}At , που έχει μακρύτερη ημιζωή, πιο συγκεκριμένα 8,1 ώρες.^[7] Όλα τα ισότοπα του φραγκίου διασπώνται σε αστάτιο, ράδιο και ραδόνιο.^[7] Το ^{223}Fr έχει βραχύτερη ημιζωή, σε σύγκριση με το μακροβιότερο ισότοπο κάθε συνθετικού στοιχείου ως και το ντούμπνιο, με ατομικό αριθμό 105.^[5]

Το φράγκιο είναι ένα αλκαλιμέταλλο που οι χημικές ιδιότητές του περισσότερο μοιάζουν με εκείνες του καϊσίου.^[5] Είναι βαρύ χημικό στοιχείο με ένα μόνο ηλεκτρόνιο σθένους (στην $7^{\text{η}}$ ηλεκτρονιακή στιβάδα).^[28] Έχει την υψηλότερη ισοδύναμη μάζα από κάθε άλλο χημικό στοιχείο.^[5] Το υδροποιημένο φράγκιο (αν ποτέ παραχθεί) θα πρέπει να έχει επιφανειακή τάση 0,05092 N/m στην (κανονική) θερμοκρασία τήξης του.^[29] Η θερμοκρασία τήξης του υπολογίστηκε ότι θα είναι γύρω στους 27 $^{\circ}\text{C}$.^[27] Η θερμοκρασία τήξης του είναι αβέβαιη εξαιτίας της εξαιρετικής σπανιότητας και ραδιοενεργότητας αυτού του χημικού στοιχείου. Η (κανονική) θερμοκρασία βρασμού του εκτιμήθηκε σε 677 $^{\circ}\text{C}$, αλλά είναι επίσης αβέβαιη.

Ο Λάινους Πόλινγκ εκτίμησε την ηλεκτραρνητικότητα του φραγκίου σε 0,7, στην ομώνυμη κλίμακα, δηλαδή την ίδια με το καίσιο.^[30] Ωστόσο, η τιμή αυτή για το καίσιο διορθώθηκε σε 0,79, αλλά δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα για να επιτρέψουν την αντίστοιχη διόρθωση της τιμής για το φράγκιο.^[31] Όμως, το φράγκιο έχει ελαφρά υψηλότερη ενέργεια ιονισμού από το καίσιο. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια πρώτου ιονισμού για το φράγκιο είναι 392,811(4) kJ/mol, έναντι 375,7041(2) kJ/mol, που είναι η πρώτη ενέργεια πρώτου ιονισμού για το καίσιο.^[32] Αυτό ήταν αναμενόμενο, εξαιτίας σχετιστικών φαινομένων. Πάντως το στοιχείο αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το καίσιο είναι το λιγότερο ηλεκτραρνητικό, σε σύγκριση των δυο χημικών στοιχείων. Το φράγκιο, επίσης, θα πρέπει να έχει υψηλότερη ηλεκτρονιακή συγγένεια σε σύγκριση με το καίσιο, και το ανιόν Fr^- πρέπει να είναι πιο πολώσιμο από το ανιόν Cs^- .^[33] Στο μόριο CsFr προβλέφθηκε ότι το φράγκιο θα είναι το αρνητικό τέλος του διπόλου, αντίθετα από όλα γνωστά ετεροδιατομικά μόρια των αλκαλιμετάλλων (στα οποία κάθε επόμενο αλκαλιμέταλλο αποτελεί το θετικό τέλος του διπόλου). Το συπεροξειδίο του φραγκίου (FrO_2) αναμένεται να έχει περισσότερο ομοιοπολικό χαρακτήρα από τα ελαφρύτερα ανάλογά του. Αυτό οφείλεται στο ότι τα 6p ηλεκτρόνια του ατόμου του φραγκίου συμμετέχουν περισσότερο στη δεσμολογία φραγκίου - οξυγόνου.^[33]

Η συγκαθίζηση του φραγκίου με πολλά άλατα του καϊσίου, όπως το υπερχλωρικό καίσιο (CsClO_4), καταλήγει σε μικρές ποσότητες των αντιστοίχων αλάτων του φραγκίου, όπως το υπερχλωρικό φράγκιο (FrClO_4). Η συγκαθίζηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομόνωση του φραγκίου, υιοθετώντας τη μέθοδο των Λώρενς Ε. Γκλέντενιν (*Lawrence E. Glendenin*) και Νέλσον (*Nelson*) για τη ραδιοκαισική συγκαθίζηση. Επιπρόσθετα, το φράγκιο συγκαθίζει και με πολλά άλλα

άλατα του καισίου, που συμπεριλαμβάνουν τα ιωδικά (CsIO_3), τα πικρικά, τα τρυγικά (επίσης και με το τρυγικό ρουβίδιο), τα χλωρολευκοχρυσικά (Cs_2PtCl_6) και τα πυριτιοβολφραμικά ($\text{Cs}_4\text{W}_{12}\text{SiO}_{40}$). Επίσης, το φράγκιο συγκαθιζάνει με το πυριτιοβολφραμικό οξύ ($\text{H}_4\text{W}_{12}\text{SiO}_{40}$) και με το υπερχλωρικό οξύ (HClO_4), χωρίς την παρουσία άλλου αλκαλιμετάλλου ως μεταφορέα, γεγονός που επιτρέπει άλλες μεθόδους διαχωρισμού.^{[34][35]} Σχεδόν όλα τα άλατα του φραγκίου είναι υδατοδιαλυτά.^[36]

Εφαρμογές

Εξαιτίας της αστάθειας και της σπανιότητάς του, δεν υπάρχουν (καθόλου) εμπορικές εφαρμογές για το φράγκιο.^{[4][19][37][38]} Χρησιμοποιήθηκε, όμως, για ερευνητικούς σκοπούς στη χημεία^[39] και στην έρευνα της ατομικής δομής. Η χρήση του ως εν δυνάμει διαγνωστική βοήθεια για διάφορες μορφές καρκίνου επίσης έχει εξερευνηθεί,^[7] αλλά αυτή η εφαρμογή κρίθηκε μη πρακτική.^[4]

Η ικανότητα του φραγκίου να συντεθεί, να παγιδευτεί και να ψυχθεί, μαζί με τη σχετικά απλή ατομική δομή του, το έχουν καταστήσει αντικείμενο εξειδικευμένων πειραμάτων φασματοσκοπίας. Αυτά τα πειράματα έχουν οδηγήσει σε πιο εξειδικευμένη πληροφόρηση όσων αφορούν τα ενεργειακά επίπεδα και τις σταθερές ζευγαρώματος μεταξύ υποατομικών σωματιδίων.^[40] Μελέτες πάνω στο φως που εκπέμπεται από ιόντα ^{210}Fr που παγιδεύονται με λέιζερ απέδωσαν ακριβή δεδομένα για τις μεταπτώσεις ανάμεσα στα ατομικά ενεργειακά επίπεδα, που είναι μέτρια παρόμοια με αυτά που πρόβλεψε η κβαντική θεωρία.^[41]



Παραπομπές και σημειώσεις

1. Perey, M. (1939-10-01). «L'élément 87 : AcK, dérivé de l'actinium» (στα γαλλικά). *Journal de Physique et le Radium* **10** (10): 435–438. doi:10.1051/jphysrad:019390010010043500 (<https://dx.doi.org/10.1051%2Fjphysrad%3A019390010010043500>). ISSN 0368-3842 (<http://worldcat.org/issn/0368-3842>).
2. Κάποια τεχνητά χημικά στοιχεία, όπως π.χ. το τεχνητίο, βρέθηκαν αργότερα, μετά τη σύνθεσή τους, και στη φύση.
3. Luis A. Orozco (2003). "Francium". Chemical and Engineering News.
4. Emsley, John (2001). *Nature's Building Blocks* (<https://books.google.com/books?id=Yhi5X7OwuGkC&pg=PA151>). Oxford: Oxford University Press. σελίδες 151–153. ISBN 978-0-19-850341-5.
5. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. **4**. CRC. 2006. σελ. 12. ISBN 978-0-8493-0474-3.
6. Winter, Mark. «Geological information» (<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Fr/geol.htm>). *Francium*. The University of Sheffield. Ανακτήθηκε στις 26 Μαρτίου 2007.
7. Price, Andy (20 Δεκεμβρίου 2004). «Francium» (<http://www.andyscouse.com/pages/francium.htm>). Ανακτήθηκε στις 19 Φεβρουαρίου 2012.
8. Adloff, Jean-Pierre; Kaufman, George B. (September 25, 2005). Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element (<http://chemeducator.org/sbibs/s0010005/spapers/1050387gk.htm>) Αρχειοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20130604212956/http://chemeducator.org/sbibs/s0010005/spaper/s/1050387gk.htm>) June 4, 2013, στο *Wayback Machine*.. *The Chemical Educator* **10** (5). Retrieved on 2007-03-26.
9. Fontani, Marco (September 10, 2005). «The Twilight of the Naturally-Occurring Elements: Moldavium (Ml), Sequanium (Sq) and Dor (Do)» (<https://web.archive.org/web/20060224090117/http://5ichc-portugal.ulusofona.pt/uploads/PaperLong-MarcoFontani.doc>). *International Conference on the History of Chemistry* (<http://5ichc-portugal.ulusofona.pt/uploads/PaperLong-MarcoFontani.doc>). Lisbon, pp. 1–8. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://5ichc-portugal.ulusofona.pt/uploads/PaperLong-MarcoFontani.doc>) στις February 24, 2006. <https://web.archive.org/web/20060224090117/http://5ichc-portugal.ulusofona.pt/uploads/PaperLong-MarcoFontani.doc>. Ανακτήθηκε στις April 8, 2007.
10. Van der Krogt, Peter (10 Ιανουαρίου 2006). «Francium» (<http://elements.vanderkrogt.net/element.php?sym=Fr>). *Elementymology & Elements Multidict*. Ανακτήθηκε στις 8 Απριλίου 2007.
11. «Alabamine & Virginium» (<https://web.archive.org/web/20110130144712/http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,743159,00.html>). TIME. February 15, 1932. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,743159,00.html>) στις 2011-01-30. <https://web.archive.org/web/20110130144712/http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,743159,00.html>. Ανακτήθηκε στις April 1, 2007.

12. MacPherson, H. G. (1934). «An Investigation of the Magneto-Optic Method of Chemical Analysis». *Physical Review* **47** (4): 310–315. doi:10.1103/PhysRev.47.310 (<https://dx.doi.org/10.1103%2FPhysRev.47.310>). Bibcode: 1935PhRv...47..310M (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1935PhRv...47..310M>).
13. Adloff, Jean-Pierre; Kauffman, George B. (2005). «Francium (Atomic Number 87), the Last Discovered Natural Element» (<http://www.perrey.org/genealogy/MP%202.pdf>). *The Chemical Educator* **10** (5): 387–394. doi:10.1333/s00897050956a (<https://dx.doi.org/10.1333%2Fs00897050956a>). <http://www.perrey.org/genealogy/MP%202.pdf>.
14. «Francium». *McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology*. 7. McGraw-Hill Professional. 2002. σελίδες 493–494 (<https://archive.org/details/mcgrawhillencycl165newy/page/493>). ISBN 978-0-07-913665-7.
15. Grant, Julius (1969). «Francium». *Hackh's Chemical Dictionary* (<https://archive.org/details/hackhschemicaldi00hack>). McGraw-Hill. σελίδες 279 (<https://archive.org/details/hackhschemicaldi00hack/page/279>)–280. ISBN 978-0-07-024067-4.
16. «History» (https://archive.today/19990203121919/http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/history.HTM). *Francium*. State University of New York at Stony Brook. Φεβρουαρίου 20, 2007. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/history.HTM) στις Φεβρουαρίου 3, 1999. Ανακτήθηκε στις Μαρτίου 26, 2007.
17. Lide, David R., επιμ. (2006). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. **11**. CRC. σελίδες 180–181. ISBN 978-0-8493-0487-3.
18. Considine, Glenn D., επιμ. (2005). *Francium*, in *Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry*. New York: Wiley-Interscience. σελ. 679. ISBN 978-0-471-61525-5.
19. Considine, Glenn D., επιμ. (2005). *Chemical Elements*, in *Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry*. New York: Wiley-Interscience. σελ. 332. ISBN 978-0-471-61525-5.
20. National Nuclear Data Center (1990). «Table of Isotopes decay data» (<https://web.archive.org/web/20061031212436/http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=870223>). Brookhaven National Laboratory. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=870223>) στις Οκτωβρίου 31, 2006. Ανακτήθηκε στις Απριλίου 4, 2007.
21. National Nuclear Data Center (2003). «Fr Isotopes» (https://web.archive.org/web/20070630041029/http://ie.lbl.gov/education/parent/Fr_iso.htm). Brookhaven National Laboratory. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://ie.lbl.gov/education/parent/Fr_iso.htm) στις Ιουνίου 30, 2007. Ανακτήθηκε στις Απριλίου 4, 2007.
22. «Production of Francium» (https://archive.today/20071012010344/http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/production.HTM). *Francium*. State University of New York at Stony Brook. Φεβρουαρίου 20, 2007. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/production.HTM) στις Οκτωβρίου 12, 2007. Ανακτήθηκε στις Μαρτίου 26, 2007.
23. «Cooling and Trapping» (https://archive.today/20071122170110/http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/trapping.HTM). *Francium*. State University of New York at Stony Brook. Φεβρουαρίου 20, 2007. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://fr.physics.sunysb.edu/francium_news/trapping.HTM) στις Νοεμβρίου 22, 2007. Ανακτήθηκε στις Μαΐου 1, 2007.
24. Orozco, Luis A. (September 30, 2014). *Project Closeout Report: Francium Trapping Facility at TRIUMF* (<https://www.osti.gov/servlets/purl/1214938>). U.S. Department of Energy. doi:10.2172/1214938 (<https://dx.doi.org/10.2172%2F1214938>). <https://www.osti.gov/servlets/purl/1214938>.
25. Tandecki, M; Zhang, J.; Collister, R.; Aubin, S.; Behr, J. A.; Gomez, E.; Gwinner, G.; Orozco, L. A. και άλλοι. (2013). «Commissioning of the Francium Trapping Facility at TRIUMF». *Journal of Instrumentation* **8** (12): P12006. doi:10.1088/1748-0221/8/12/P12006 (<https://dx.doi.org/10.1088%2F1748-0221%2F8%2F12%2FP12006>).
26. Keller, Cornelius; Wolf, Walter; Shani, Jashovam. «Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry». *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH. doi:10.1002/14356007.o22_o15 (https://dx.doi.org/10.1002%2F14356007.o22_o15). ISBN 978-3527306732.
27. «Francium» (<http://periodic.lanl.gov/87.shtml>). Los Alamos National Laboratory. 2011. Ανακτήθηκε στις 19 Φεβρουαρίου 2012.
28. Winter, Mark. «Electron Configuration» (<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Fr/eneg.htm>). *Francium*. The University of Sheffield. Ανακτήθηκε στις 18 Απριλίου 2007.
29. Kozhitov, L. V.; Kol'tsov, V. B.; Kol'tsov, A. V. (2003). «Evaluation of the Surface Tension of Liquid Francium». *Inorganic Materials* **39** (11): 1138–1141. doi:10.1023/A:1027389223381 (<https://dx.doi.org/10.1023%2FA%3A1027389223381>).
30. Pauling, Linus (1960). *The Nature of the Chemical Bond* (https://archive.org/details/natureofchemical0000paul_3ed) (Third έκδοση). Cornell University Press. σελ. 93 (https://archive.org/details/natureofchemical0000paul_3ed/page/93). ISBN 978-0-8014-0333-0.
31. Allred, A. L. (1961). «Electronegativity values from thermochemical data». *J. Inorg. Nucl. Chem.* **17** (3–4): 215–221. doi:10.1016/0022-1902(61)80142-5 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0022-1902%2861%2980142-5>).

32. Andreev, S.V.; Letokhov, V.S.; Mishin, V.I. (1987). «Laser resonance photoionization spectroscopy of Rydberg levels in Fr». *Physical Review Letters* **59** (12): 1274–76. doi:10.1103/PhysRevLett.59.1274 (<https://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.1274>). PMID 10035190 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10035190>). Bibcode: 1987PhRvL..59.1274A (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1987PhRvL..59.1274A>).
33. Thayer, John S. (2010). «Chap.10 Relativistic Effects and the Chemistry of the Heavier Main Group Elements». *Relativistic Methods for Chemists*. Springer. σελ. 81. doi:10.1007/978-1-4020-9975-5_2 (https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9975-5_2). ISBN 978-1-4020-9975-5.
34. Hyde, E. K. (1952). «Radiochemical Methods for the Isolation of Element 87 (Francium)». *J. Am. Chem. Soc.* **74** (16): 4181–4184. doi:10.1021/ja01136a066 (<https://dx.doi.org/10.1021/ja01136a066>).
35. E. N K. Hyde *Radiochemistry of Francium*, Subcommittee on Radiochemistry, National Academy of Sciences-National Research Council; available from the Office of Technical Services, Dept. of Commerce, 1960.
36. Maddock, A. G. (1951). «Radioactivity of the heavy elements». *Q. Rev. Chem. Soc.* **3** (3): 270–314. doi:10.1039/QR9510500270 (<https://dx.doi.org/10.1039/QR9510500270>).
37. Winter, Mark. «Uses» (<http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Fr/uses.html>). *Francium*. The University of Sheffield. Ανακτήθηκε στις 25 Μαρτίου 2007.
38. Gagnon, Steve. «Francium» (<http://education.jlab.org/itselemental/ele087.html>). Jefferson Science Associates, LLC. Ανακτήθηκε στις 1 Απριλίου 2007.
39. Haverlock, T. J.; Mirzadeh, S.; Moyer, B. A. (2003). «Selectivity of calix[4]arene-bis(benzocrown-6) in the complexation and transport of francium ion». *J Am Chem Soc* **125** (5): 1126–7. doi:10.1021/ja0255251 (<https://dx.doi.org/10.1021/ja0255251>). PMID 12553788 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12553788>).
40. Gomez, E.; Orozco, L A; Sprouse, G D (November 7, 2005). «Spectroscopy with trapped francium: advances and perspectives for weak interaction studies». *Rep. Prog. Phys.* **69** (1): 79–118. doi:10.1088/0034-4885/69/1/R02 (<https://dx.doi.org/10.1088/0034-4885/69/1/R02>). Bibcode: 2006RPPh...69...79G (<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006RPPh...69...79G>).
41. Peterson, I. (May 11, 1996). «Creating, cooling, trapping francium atoms» (<https://web.archive.org/web/20110604223626/http://www.sciencenews.org/pages/pdfs/data/1996/149-19/14919-06.pdf>). *Science News* **149** (19): 294. doi:10.2307/3979560 (<https://dx.doi.org/10.2307/3979560>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.sciencenews.org/pages/pdfs/data/1996/149-19/14919-06.pdf>) στις 2011-06-04. <https://web.archive.org/web/20110604223626/http://www.sciencenews.org/pages/pdfs/data/1996/149-19/14919-06.pdf>. Ανακτήθηκε στις September 11, 2009.

Εξωτερικοί σύνδεσμοι

-  Πολυμέσα σχετικά με το θέμα Francium στο Wikimedia Commons
-  Λεξιλογικός ορισμός του φράγκιο στο Βικιλεξικό

Ανακτήθηκε από ["https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Φράγκιο&oldid=10853245"](https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Φράγκιο&oldid=10853245)