



Θάλλιο

Το χημικό στοιχείο **θάλλιο** (*thallium*) είναι πολύ μαλακό, εύπλαστο, αργυρόλευκο, και τοξικό μέταλλο. Ο ατομικός αριθμός του είναι 81 και η σχετική ατομική μάζα του 204,3833. Το χημικό του σύμβολο είναι «**Tl**» και ανήκει στην ομάδα 13 του περιοδικού πίνακα, στην περίοδο 6 και στο p-block. Έχει θερμοκρασία τήξης 304 °C και θερμοκρασία βρασμού 1.473 °C.

Η μέση περιεκτικότητα του στερεού φλοιού της Γης σε θάλλιο είναι περίπου 0,7 ppm.^[4] Το στοιχείο είναι πάρα πολύ διεσπαρμένο. Είναι περισσότερο διεσπαρμένο από το γάλλιο και το ίνδιο. Συγκριτικά αναφέρεται ότι στη λιθόσφαιρα, ο άργυρος (ασήμι) είναι 7 φορές σπανιότερος, ενώ ο χρυσός 170 φορές σπανιότερος από το θάλλιο.^[5]

Στη φύση απαντά με μορφή σπάνιων ορυκτών, τα οποία όμως δεν είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμα. Τέτοια ορυκτά είναι^[6] ο αβικεννίτης, ο κρουκσίτης, ο ουρμπαίτης και ο χατσινσονίτης. Το θάλλιο συνοδεύει κυρίως θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων, όπως ο σφαλερίτης, ο σιδηροπυρίτης και ο γαληνίτης ενώ αναφέρονται και εμφανίσεις του σε κονδύλους μαγγανίου στους βυθούς των ωκεανών.^[7] Κοιτάσματα που περιέχουν το θάλλιο ως βασικό μέταλλο είναι πολύ λίγα. Τέτοια κοιτάσματα έχουν εντοπιστεί και μελετηθεί κυρίως στην Κίνα και στη Βόρεια Μακεδονία χωρίς όμως να παράγεται από αυτά θάλλιο. Τα παγκόσμια αποθέματα θαλλίου που περιέχονται σε ορυκτά του ψευδαργύρου εκτιμώνται σε 17.000 τόνους, ενώ στα κοιτάσματα λιθάνθρακα εκτιμάται ότι υπάρχουν άλλοι 630.000 τόννοι θαλλίου.

Το θάλλιο μαυρίζει στον αέρα και επικαλύπτεται από οξείδιο, παίρνοντας γκρι-μπλε χρώμα που μοιάζει με του μολύβδου, διαλύεται στα οξέα και παρουσία υγρασίας μετατρέπεται στο δηλητηριώδες οξείδιο του θαλλίου (I), TlOH.^[8] Οι ράβδοι θαλλίου αποθηκεύονται τυλιγμένες σε χαρτί εμποτισμένο με υγρά αλκάνια (παραφίνες).

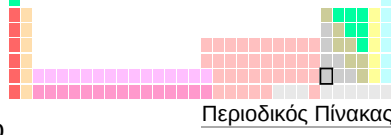

Το στοιχείο ανακαλύφθηκε από τον Άγγλο φυσικό Ουίλιαμ Κρουκς το 1861, ενώ η απομόνωση και η εμπεριστατωμένη μελέτη του μεταλλικού θαλλίου αποδίδεται στον Γάλλο χημικό Λαμύ το 1862. Το όνομα προέρχεται από την ελληνική λέξη θαλλός που σημαίνει νέο, τρυφερό (άρα πράσινο) κλαδάκι, βλαστάρι.^[9]

Το θάλλιο παράγεται από τα κατάλοιπα που προκύπτουν από τη φρύξη θειούχων ορυκτών του μολύβδου, του χαλκού ή του ψευδαργύρου, δηλαδή από τα κατάλοιπα της επεξεργασίας θειούχων μεταλλευμάτων.^[2]

Εμφανίζεται σε δύο κυρίως αλλοτροπικές μορφές την α- και τη β- με θερμοκρασία μετατροπής τους 230 °C.^[2] Υπάρχει και μια τρίτη αλλοτροπική μορφή, η γ-, που εμφανίζεται σε υψηλές πιέσεις.^[1]

Στις ενώσεις του παρουσιάζεται με δύο αριθμούς οξείδωσης, +1 και +3.

Τόσο το στοιχείο όσο και οι ενώσεις του είναι πολύ τοξικές και θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με μεγάλη προσοχή.^[10] Η χρήση του σε πολλές χώρες έχει απαγορευθεί λόγω της τοξικότητάς του ενώ η ανακύκλωσή του από

Θάλλιο	
Υδράργυρος ← Θάλλιο → Μόλυβδος	
↑ Ινδιο ↓ Tl ↓ Νιχόνιο	 Περιοδικός Πίνακας
	
1 g καθαρού θαλλίου	
Ιστορία	
Ταυτότητα του στοιχείου	
Όνομα, σύμβολο	Θάλλιο (Tl)
Ατομικός αριθμός (Z)	81
Κατηγορία	Μέταλλα
ομάδα, περίοδος, τομέας	13 ,6, p
Σχετική ατομική μάζα (<i>A</i> _r)	204,3833
Ηλεκτρονική διαμόρφωση	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ¹
Αριθμός EINECS	231-138-1
Αριθμός CAS	7440-28-0
Ατομικές ιδιότητες	
Ατομική ακτίνα	170 pm
Ομοιοπολική ακτίνα	155 pm ^[1]
Ακτίνα van der Waals	200 pm ^[1]
Ηλεκτραρνητικότητα	1,62
Κυριότεροι αριθμοί οξείδωσης	+3, +1
Ενέργειες ιονισμού	1η:589,4 KJ/mol 2η:1971 KJ/mol 3η:2878 KJ/mol
Φυσικά χαρακτηριστικά	
Κρυσταλλικό σύστημα	εξαγωνικό (α-Tl) ^[1]
Σημείο τήξης	304 °C (579 °F) (577 K) ^[2]
Σημείο βρασμού	1.473 °C (2.683 °F) (1.746 K)
Πυκνότητα	11,85 g/cm ³
Ενθαλπία τήξης	4,14 KJ/mol
Ενθαλπία εξάτμισης	165 KJ/mol
Ειδική θερμοχωρητικότητα	26,32 J/mol·K

εμπορικά προϊόντα δεν είναι ακόμη οικονομικά συμφέρουσα. Αυτό μπορεί να έχει μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αυξανόμενη χρήση σε τεχνολογικές εφαρμογές ενός τόσο τοξικού μετάλλου.^[11]

Περίπου το 60 % με 70 % της παραγωγής θαλλίου χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ηλεκτρονικών και το υπόλοιπο στη φαρμακοβιομηχανία και στην υαλουργία. Επίσης χρησιμοποιείται στους υπέρυθρους ανιχνευτές ενώ εξαιτίας της μεγάλης του τοξικότητας χρησιμοποιήθηκε παλιότερα ως ποντικοφάρμακο και εντομοκτόνο. Το κόστος του μετάλλου ανερχόταν το 2009 σε 5.700 δολάρια/Kg.^[4]

Το θάλλιο έχει δύο σταθερά ισότοπα, το ²⁰³Tl και το ²⁰⁵Tl.

Ιστορία

Η ανακάλυψη του θαλλίου αποδίδεται σε δύο επιστήμονες που εργάστηκαν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο: Στον Άγγλο χημικό Ουίλλιαμ Κρουκς (Sir William Crookes, 1832 – 1919) που εντόπισε το νέο στοιχείο το 1861 και στον Γάλλο Κλοντ-Ωγκύστ Λαμύ (Claude Auguste Lamy, 1820 – 1878) που το παρασκεύασε σε καθαρή κατάσταση το 1862.


Το φασματοσκόπιο εφευρέθηκε το 1814 από τον Γερμανό φυσικό Φραουνχόφερ (Joseph von Fraunhofer). Σαράντα χρόνια αργότερα, οι Γερμανοί χημικοί Ρόμπερτ Μπούνσεν (Robert Bunsen) και Γκούσταβ Κίρχοφ (Gustav Kirchhoff) βελτίωσαν τη συσκευή και έδειξαν με ποιον τρόπο αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη χημικών στοιχείων. Το 1860 οι δύο προηγούμενοι επιστήμονες, χρησιμοποιώντας το όργανο, ανακάλυψαν το καίσιο, το 1861 δημοσίευσαν βελτιωμένη μέθοδο μελέτης με το φασματοσκόπιο,^[12] ενώ την ίδια χρονιά ο Bunsen ανακάλυψε με τη βοήθεια του οργάνου το ρουβίδιο.^[13] Η φασματοσκοπία ατομικής εκπομπής είχε αρχίσει να γίνεται ένα πολύτιμο εργαλείο μελέτης της σύστασης των ορυκτών και των χημικών προϊόντων και τόσο ο Crookes όσο και ο Lamy άρχισαν να χρησιμοποιούν τη νέα μέθοδο.

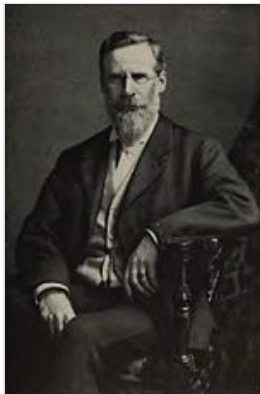
Ο Crookes, εργαζόμενος στο Βασιλικό Κολέγιο Χημείας στο Λονδίνο, έκανε φασματοσκοπικούς προσδιορισμούς σε ενώσεις τελλουρίου και σεληνίου που ήταν κατάλοιπα στη μέθοδο των μολυβδίνων θαλάμων από ένα εργοστάσιο παραγωγής θεικού οξέος κοντά στο Tilkeroode στα βουνά Χαρτς της Βόρειας Γερμανίας. Είχε αποκτήσει 10 λίβρες (περίπου 4,5 κιλά) υλικά για τις έρευνές του, μερικά χρόνια νωρίτερα, το 1850, από τον Γερμανό Καθηγητή του Χόφμαν (August Wilhelm von Hofmann). Όμως, η μελέτη των καταλοίπων αυτών με τη βοήθεια φασματοσκοπίου οδήγησε τον Crookes να κάνει την ακόλουθη διαπίστωση^[14] :

...suddenly a bright green line flashed into view and as quickly disappeared. An isolated green line in this portion of the spectrum was new to me.

(...Ξαφνικά μια πράσινη φωτεινή γραμμή άστραψε στο οπτικό πεδίο και αμέσως εξαφανίστηκε. Μια απομονωμένη πράσινη γραμμή σ'αυτην την περιοχή του φάσματος ήταν κάτι καινούργιο για μένα.)

Ο Crookes οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε ένα νέο χημικό στοιχείο στα κατάλοιπα που είχε εξετάσει και ανακοίνωσε την ανακάλυψή του στις 30 Μαρτίου του 1861. Η πράσινη γραμμή στο φάσμα προσομοίαζε με το χρώμα ανοιξιάτικης πρασινάδας και έτσι τον Μάιο του ίδιου χρόνου πρότεινε^[15] για το νέο στοιχείο το όνομα θάλλιο από την ελληνική λέξη θαλλός (ή τη λατινική thallus) που σημαίνει εκκολαπτόμενο βλαστάρι ή κλαράκι. Όμως δεν είχε στην κατοχή του επαρκή ποσότητα πρώτων υλών και έτσι δεν μπόρεσε να απομονώσει και να μελετήσει τις χημικές ιδιότητες του νέου στοιχείου, πράγμα που τελικά κατόρθωσε το 1862.^[13]

Μαγνητική συμπεριφορά	διαμαγνητικό ^[3]
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	(20 °C) 180 nΩ·m
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα	(20 °C) 5,56 MS/m
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	(27 °C) 46,1 W/(m·K)
Σκληρότητα Mohs	1,2
Σκληρότητα Vickers	9
Σκληρότητα Brinell	26,4 MPa
Μέτρο ελαστικότητας (Young's modulus)	7,89 GPa ^[1]
Μέτρο διάτμησης (Shear modulus)	2,67 GPa
Μέτρο ελαστικότητας όγκου (Bulk modulus)	43 GPa
Λόγος Poison	0,45
Ταχύτητα του ήχου	480 m/s (εγκάρσια κύματα σε στερεό) 1630 m/s (διαμήκη κύματα σε στερεό) ^[1]
Επικινδυνότητα	
	
Φράσεις κινδύνου	26, 28, 33, 47
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά	



Ο Sir William Crookes ήταν ένας από τους δύο χημικούς που ανακάλυψαν το θάλλιο.

Ο Lamy, εργαζόμενος στο πανεπιστήμιο της Λιλ, χρησιμοποίησε ένα φασματοσκόπιο παρόμοιο με του Crookes για να προσδιορίσει τη σύνθεση ουσιών που περιείχαν σελήνιο και οι οποίες απέμεναν ως κατάλοιπα της παραγωγής θειικού οξέος από τον σιδηροπυρίτη. Τα κατάλοιπα αυτά τα είχε αποκτήσει σε μεγάλες ποσότητες από τον φίλο του Κούλμαν (Fred Kuhlmann). Εντόπισε επίσης την πράσινη γραμμή στο φάσμα και συμπεράνε ότι αυτή οφειλόταν σε κάποιο νέο χημικό στοιχείο. Όπως αναφέρει και ο ίδιος ο Lamy,^[16] την εποχή των ανακαλύψεών του δεν γνώριζε τις εργασίες του Crookes :

j' ignorais alors qu'un chimiste anglais, M.W. Crookes, avait non-seulement découvert la même raie verte dans des circonstances à peu près analogues, mais avait donné le nom de *thallium* à l'élément nouveau...

(Αγνοούσα επομένως ότι ένας Άγγλος χημικός, ο κύριος W. Crookes, είχε όχι μόνο ανακαλύψει την ίδια πράσινη γραμμή κάτω από σχεδόν ανάλογες συνθήκες, αλλά είχε δώσει και το όνομα θάλλιο στο καινούργιο στοιχείο...)

Ο Lamy, γνωρίζοντας ότι ο Crookes δεν είχε επαρκείς ποσότητες υλικών για κατεργασία, ξεκίνησε τις προσπάθειες απομόνωσης του στοιχείου.^[16] Το γεγονός μάλιστα ότι ήταν σε θέση να εργαστεί με σημαντικές ποσότητες θαλλίου, του επέτρεψε να καθορίσει τις ιδιότητες των διαφόρων ενώσεών του και, επιπλέον, παρασκεύασε μια μικρή ράβδο μεταλλικού θαλλίου, η οποία κατασκευάστηκε από ανάτηξη του μετάλλου που προήλθε από την ηλεκτρόλυση αλάτων του. Πρώτος επίσης διαπίστωσε ότι οι ενώσεις του θαλλίου ήταν δηλητηριώδεις.^[17] Καθώς ήταν εξοικειωμένος πλέον με τη χημεία του θαλλίου, θεμελίωσε με μεταγενέστερες έρευνές του τις ομοιότητες με πολλά άλλα στοιχεία όπως με τα αλκαλιμέταλλα, με τον άργυρο, τον υδράργυρο και τον μόλυβδο.^[18] Ο Γάλλος χημικός Ζαν Μπατίστ Αντρέ Ντυμά (Jean Baptiste André Dumas, 1800 – 1884) μάλιστα βάφτισε το θάλλιο ορνιθόρυγχο των μετάλλων.^[Σημ. 1]

Δεδομένου ότι οι δύο επιστήμονες ανακάλυψαν ανεξάρτητα μεταξύ τους το θάλλιο και ένα μεγάλο μέρος της εργασίας, ειδικά η απομόνωση του μετάλλου έγινε από τον Lamy, ο Crookes προσπάθησε να εξασφαλίσει την πατρότητα της ανακάλυψης. Στον Lamy απονεμήθηκε ένα μετάλλιο στη Διεθνή Έκθεση του Λονδίνου το 1862 με τη σημείωση: Για την ανακάλυψη μιας νέας και άφθονης πηγής θαλλίου και μετά από έντονες διαμαρτυρίες έλαβε και ο Crookes επίσης, ένα μετάλλιο με τη σημείωση: Θάλλιο, για την ανακάλυψη του νέου στοιχείου.

Η διαμάχη μεταξύ των δύο επιστημόνων συνεχίστηκε και το 1863 και έλαβε τέλος όταν ο Crookes εξελέγη Μέλος της Βασιλικής Εταιρείας, τον Ιούνιο του 1863.^[19] Αναφέρεται ανεπίσημα ότι ο Lamy τελικά απέδωσε την ανακάλυψη στον Crookes.^[20]

Εμφανίσεις

Η μέση περιεκτικότητα του θαλλίου στον στερεό φλοιό της Γης είναι 0,7 ppm^[4] (47ο μεταξύ 65 μετάλλων), ενώ συνολικά στη Γη η περιεκτικότητα του θαλλίου ανέρχεται σε 0,00386 ppb.^[21] Η μέση περιεκτικότητα σε θάλλιο των υδάτων των ωκεανών είναι 0,000019 mg/L.^[22]

Το μέταλλο απαντά συχνά σε θειούχα κοιτάσματα βαρέων μετάλλων όπως ο ψευδάργυρος, ο χαλκός, ο σίδηρος και ο μόλυβδος. Θάλλιο επίσης μπορεί να εμφανιστεί και μαζί με σουλφίδια του αντιμονίου, του αρσενικού και του αργύρου.^[4] Επίσης, μπορεί να βρεθεί μαζί με ρουβίδιο σε πυριγενή ορυκτά του καλίου^[23] όπως οι μαρμαρυγίες και οι άστριοι.^[2]

Η περιεκτικότητα σε θάλλιο των υδάτων των ωκεανών εκτιμάται σε $1,3 \times 10^{-5}$ ppm. Οι κύριες πηγές του διαλυμένου Tl στους ωκεανούς είναι τα ποτάμια, τα υδροθερμικά υγρά, τα αερολύματα ορυκτών από τα ηφαίστεια που μεταφέρονται από τους ανέμους στον ωκεανό και οι ροές από τις ρωγμές του ωκεάνιου φλοιού της Γης.^[24]

Στο έδαφος αυξημένες συγκεντρώσεις θαλλίου, ιδιαίτερα υδατοδιαλυτών ενώσεών του, παρατηρούνται και από ανθρωπογενείς πηγές όπως η επεξεργασία των γαιανθράκων, η κατεργασία βαρέων μετάλλων, οι βιομηχανίες τσιμέντου κλπ. Ενδεικτικά αναφέρονται^[25] συγκεντρώσεις θαλλίου 20 - 80 ppm σε εδάφη γύρω από ορυχεία υδραργύρου και 3 - 6

ppm κοντά σε τσιμεντοβιομηχανίες στην Κίνα και από 8,8 ppm έως 27,8 ppm σε εδάφη κοντά σε ορυχεία ψευδαργύρου και μολύβδου στη Γερμανία.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Tl που έχουν βρεθεί σε εδάφη ήταν κοντά σε παλιά ορυχεία ψευδαργύρου: μέγιστη 73 ppm και ελάχιστη 15 ppm.

Γενικά, όταν η περιεκτικότητα σε θάλλιο είναι από 1 ppm και πάνω, το έδαφος πρέπει να θεωρείται μολυσμένο και να μην καλλιεργείται.

Θάλλιο υπάρχει σε πάρα πολύ μικρές ποσότητες και στο ανθρώπινο σώμα. Πιο συγκεκριμένα, στο αίμα η μέση περιεκτικότητα είναι $4,8 \times 10^{-4}$ mg/L, στο συκώτι 0,004 - 0,033 ppm, στα οστά 0,002 ppm και στους μύες 0,07 ppm. Η μέση ημερήσια απαίτηση του ανθρώπινου οργανισμού σε θάλλιο είναι 0,0015 mg, ενώ η μέση συνολική ποσότητα θαλλίου που υπάρχει σε άνθρωπο 70 Kg είναι 0,5 mg.^[26]

Η συνολική περιεκτικότητα του θαλλίου στον πλανήτη Ερμή είναι $4,4 \times 10^{-5}$ ppm, ενώ στον πλανήτη Αφροδίτη είναι περίπου 0,00405 ppm.^[22]

Γεωχημεία του θαλλίου

Η κατανομή του θαλλίου στον φλοιό της Γης δείχνει ότι η συγκέντρωσή του αυξάνεται με την αύξηση της οξύτητας των πυριγενών πετρωμάτων και με την αύξηση της αργίλου στα ιζηματογενή πετρώματα. Τα φεμικά (βασάλτες, γάββροι) και υπερμαφικά πετρώματα (δουνίτες, περιδοτίτες, πυροξενίτες) περιέχουν θάλλιο από 0,05 ppm έως 0,4 ppm και τα όξινα πετρώματα (γρανίτες, γνεύσιοι, τραχύτες, δασίτες) από 0,5 ppm έως 2,3 ppm. Αλκαλικά ιζηματογενή πετρώματα (δολομίτες, σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, αργιλικά ιζήματα) περιέχουν από 0,01 ppm έως 2 ppm Tl,^[25] ενώ επιφανειακά ιζήματα του Ειρηνικού ωκεανού περιέχουν από 0,27 ppm έως 1,25 ppm.^[27] Ωκεάνιοι κόνδυλοι περιέχουν στο μεν Ατλαντικό από 87 ppm έως 118 ppm, στον δε Ειρηνικό ωκεανό από 23 ppm έως 226 ppm. Τα κοιτάσματα γαιανθράκων περιέχουν πολύ λιγότερο θάλλιο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ορυκτοί άνθρακες στην Αυστρία περιέχουν από 0,1 ppm έως 1,5 ppm.^[27]

Το θάλλιο συμπεριφέρεται κυρίως ως χαλκόφιλο στοιχείο, προτιμά δηλ. τα θειούχα ορυκτά και είναι συμβατό με το θειούχο τήγμα παρά με το πυριτικό μάγμα. Επειδή, όμως, παρατηρούνται και εμφανίσεις του σε ορυκτά του καλίου, μερικές φορές συμπεριφέρεται και ως λιθόφιλο. Το κατιόν Tl^+ έχει παρόμοιο μέγεθος με τα κατιόντα Rb^+ και Pb^{2+} και μάλιστα αντικαθιστά εν μέρει το τελευταίο σε ορυκτά όπως ο γαληνίτης, PbS.

Κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης των πετρωμάτων, το θάλλιο, ως Tl^+ , μετακινείται και μεταφέρεται μαζί με τα διαλύματα των αλκαλιμετάλλων και απομακρύνεται από αυτά με προσρόφηση στην άργιλο.^[23] Παρόλα αυτά συχνότερα σηματίζεται επί τόπου, χωρίς μετακίνηση από την αρχική θέση απόθεσης, μαζί με πηλούς και οξειδία μαγγανίου και σιδήρου. Είναι γνωστή επίσης η απορρόφηση του θαλλίου από οργανική ύλη, ιδιαίτερα σε αναγωγικές συνθήκες.^[25]

Κοιτάσματα θαλλίου

Λίγα είναι τα κοιτάσματα στα οποία το θάλλιο είναι το βασικό μέταλλο. Από τα ορυκτά των κοιτασμάτων αυτών δεν ανακτάται θάλλιο γιατί είναι οικονομικά ασύμφορη η εξαγωγή του. Έτσι, τα κοιτάσματα αυτά αναφέρονται απλά ως σηματισμοί με αυξημένη περιεκτικότητα σε Tl.

Κοιτάσματα της Κίνας. Το 2005 ανακαλύφθηκε ένα σημαντικό κοιτάσμα θαλλίου στο Ξιανγκουάν (Xiangquan) στα βορειοανατολικά σύνορα της επαρχίας Γιανγκτζί (Yangtze) στην ανατολική Κίνα.^[28] Τα δύο σημαντικότερα μεταλλογενετικά γεγονότα που οδήγησαν στον σηματισμό αυτού του κοιτάσματος ήταν ο υδροθερμικός εμπλουτισμός του πυθμένα της αρχαίας θάλασσας που υπήρχε στην περιοχή και η υδροθερμική επανεπεξεργασία κατά τη διάρκεια της ορογένεσης Γιανσανιάν (Yanshanian) του Μεσοζωικού αιώνα. Το κύριο σώμα του κοιτάσματος έχει μήκος 120 – 400 m, πλάτος 10 – 15 m και πάχος 0,9 - 1,2 m. Το θάλλιο που υπάρχει εκτιμάται στους 250 τόνους. Το κοιτάσμα περιβάλλεται από σιδηροπυρίτη και περιέχει λορανδίτη του τύπου $TlAsS_2$, χατσινσονίτη του τύπου $TlFeS_2$ και αβικεννίτη.

Υψηλές συγκεντρώσεις Tl, συνδεόμενες με το ορυκτό λορανδίτης, εντοπίστηκαν και σε πετρώματα στη νοτιοδυτική περιοχή Γκουϊτζόου (Guizhou) της Κίνας, οι οποίες σχετίζονται με διάφορα ευρέως διασπαρμένα κοιτάσματα χρυσού (Au), υδραργύρου (Hg), αρσενικού (As) και ορυκτών ανθράκων. Οι συγκεντρώσεις του Tl κυμαίνονται από 100 ppm έως 35000 ppm στα θειούχα μεταλλεύματα και μεταξύ 39 ppm και 490 ppm στα φιλοξενούντα πετρώματα. Στα κοιτάσματα χρυσού της περιοχής αυτής, το θάλλιο κυμαίνεται από 0,22 ppm έως 16 ppm ενώ στον γαιάνθρακα το θάλλιο είναι εμπλουτισμένο έως και 46 ppm σε σχέση με τη μεταλλογενετική ζώνη Au-As-Hg-Tl.^[29]

Στην Κίνα έχουν βρεθεί επίσης και κοιτάσματα τύπου Carlin^[Σημ. 2] που περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις θαλλίου. Γεωλογικά στοιχεία αποδεικνύουν ότι τα κοιτάσματα αυτά σχηματίστηκαν κατά την ύστερη φάση της ορογένεσης Yanshanian (140-75 εκατομμύρια χρόνια).^[30]

Κοιτάσματα της Βόρειας Μακεδονίας. Το κοιτάσμα χρυσού Άλτσαρ (Allchar) της FYROM είναι τύπου Carlin, υδροθερμικό χαμηλής θερμοκρασίας που περιέχει επίσης και αρσενικό, αντιμόνιο, υδράργυρο και θάλλιο. Είναι το μοναδικό κοιτάσμα αυτού του τύπου στην Ευρώπη. Από το 1880 έως το 1908 γινόταν εντατική εξόρυξη αντιμονίου, αρσενικού και θαλλίου. Τα εναπομείναντα αποθέματα θαλλίου εκτιμώνται σήμερα σε 500 τόνους^[31] περίπου και το κύριο ορυκτό είναι ο λορανδίτης παρόλο που κατά καιρούς έχουν ανακαλυφθεί και άλλα ορυκτά του θαλλίου όπως ο γιανκοβίτης, ο φαγκίτης και ο μπερναρντίτης. Τα μεταλλοφόρα τμήματα του κοιτάσματος φιλοξενούνται σε ανθρακικά πετρώματα του Τριαδικού, σε εμβόλιμες ηφαιστειακές συμπαγείς τέφρες και δολομίτες του Τριτογενούς καθώς και σε όξινα μαγματικά πετρώματα του Πλειόκαινου.^[32] Με χημικές αναλύσεις σε ορυκτά αρσενικούχου χρυσού διαπιστώθηκε ότι η υψηλότερη συγκέντρωση θαλλίου ήταν περίπου 6900 ppm.

Ορυκτά

Παρόλο που είναι γνωστά πάνω από 50 ορυκτά του θαλλίου,^[6] τέσσερα είναι αυτά που απαντώνται συχνότερα στη φύση: ο κρουκσίτης με τύπο $\text{Cu}_7(\text{Tl}, \text{Ag})\text{Se}_4$ που περιέχει 16,3 % Tl και που έχει βρεθεί κυρίως στη Σουηδία, ο λορανδίτης με τύπο TlAsS_2 που περιέχει 59,51 % Tl και που υπάρχει σε πολλά μέρη του κόσμου, ο ουρμπαϊτης με γενικό τύπο $\text{Tl}_4\text{Hg}_3\text{Sb}_2\text{As}_8\text{S}_{20}$ και με 28,16 % Tl και ο χατσινσονίτης με γενικό τύπο $(\text{Pb}, \text{Tl})_2\text{As}_5\text{S}_9$ και 19 % Tl.^[2] Το ορυκτό με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε θάλλιο είναι ο αβικεννίτης με τύπο Tl_2O_3 που περιέχει 92,74 % Tl. Τα ορυκτά αυτά όμως σπανίως χρησιμοποιούνται για ανάκτηση και εμπορική αξιοποίηση του μετάλλου.



Λορανδίτης



Χατσινσονίτης

Μια νέα παραλλαγή μουργουνσκίτη ($\text{K}_2\text{Cu}_3\text{FeS}_4$) πλούσιου σε θάλλιο (24,31 % Tl) εντοπίστηκε ανάμεσα σε ορυκτά σουλφίδια στο όρος Kedykverpakhk στη χερσόνησο Κόλα της Ρωσίας το 2006.^[33] Ο μουργουνσκίτης είναι ορυκτό της ομάδας του θαλκουσίτη ($\text{TlCu}_3\text{FeS}_4$) η οποία περιλαμβάνει επίσης και τον μπουκοβίτη ($\text{Tl}_2\text{Cu}_3\text{FeS}_4$)

Το 1976 ανακαλύφθηκε στα ορυχεία χαλκού-νικελίου στην περιοχή Norilsk-Talnakh της Σιβηρίας ένα νέο θειούχο ορυκτό του θαλλίου, ο θαλκουσίτης με τύπο $\text{Cu}_{3-x}\text{Tl}_2\text{Fe}_{1+x}\text{S}_4$.^[34]

Εξαγωγή - Απομόνωση του θαλλίου από μεταλλεύματα και ορυκτά

- Αν το θάλλιο πρόκειται να εξαχθεί από πετρώματα με θαλλιούχα ορυκτά, εφαρμόζεται η μέθοδος Crookes^[35]: Τα πετρώματα πρώτα κονιορτοποιούνται και μετατρέπονται σε σκόνη και μετά διαλυτοποιούνται σε βασιλικό νερό. Στη συνέχεια προστίθεται θειικό οξύ, ακολουθεί εξάτμιση για την απομάκρυνση της περισσειας του οξέος και ουδετεροποίηση του διαλύματος με προσθήκη ανθρακικού νατρίου, Na_2CO_3 .

Ακολουθεί η προσθήκη κυανιούχου καλίου για την καταβύθιση και απομάκρυνση με φιλτράρισμα με τη μορφή αλάτων κυανίου, βισμούθιου και μολύβδου που μπορεί να συνυπάρχουν. Στο διάλυμα διοχετεύεται υδρόθειο, το οποίο μετατρέπει το θάλλιο και το κάδμιο και τον υδράργυρο εφόσον υπάρχουν, σε δυσδιάλυτα σουλφίδια, Tl_2S , CdS και HgS αντίστοιχα. Τέλος, η προσθήκη πυκνού θειικού οξέος, διαλυτοποιεί μόνο το θειούχο θάλλιο (I) ενώ αφήνει αδιάλυτα τα άλλα δύο σουλφίδια.

- Αν το θάλλιο πρόκειται να ανακτηθεί από την τέφρα των καπνοδόχων των βιομηχανιών παραγωγής θειικού οξέος, ακολουθείται γενικά η εξής διαδικασία^[35]: Στην τέφρα, το θάλλιο βρίσκεται με τη μορφή οξειδίου του θαλλίου (I), Tl_2O . Επειδή όμως η τέφρα περιέχει και οξείδια άλλων μετάλλων, όπως χαλκού (Cu), μολύβδου (Pb), βισμούθιου (Bi), αρσενικού (As) και σιδήρου (Fe), διαλυτοποιείται σε βασιλικό νερό και μετά το διάλυμα θερμαίνεται μέχρι να απομακρυνθεί όλο το νιτρικό οξύ. Στη συνέχεια διοχετεύεται στο διάλυμα υδρόθειο οπότε καταβυθίζονται τα σουλφίδια CuS , As_2S_3 , Bi_2S_3 , PbS ενώ παραμένουν εν διαλύσει τα σουλφίδια Tl_2S και Fe_2S_3 . Στη συνέχεια στο διάλυμα:
 - Μπορεί να προστεθεί υδατικό διάλυμα αμμωνίας, NH_3 , οπότε καταβυθίζεται ο Fe ως $Fe(OH)_3$, ενώ το υδροξείδιο του θαλλίου (I) που θα σχηματιστεί από την αντίδραση: $Tl_2S + 2NH_3 + 2H_2O \rightarrow 2TlOH + (NH_4)_2S$,^[36] παραμένει αδιάλυτο. Μετά προστίθεται ιωδιούχο κάλιο, KI, οπότε καταβυθίζεται TlI : $TlOH + KI \rightarrow TlI + KOH$, το οποίο συλλέγεται με διήθηση, κατεργάζεται με θειικό οξύ μετατρέπόμενο σε θειικό θάλλιο: $2TlI + H_2SO_4 \rightarrow Tl_2SO_4 + 2HI$, το οποίο τελικά ανάγεται με ψευδάργυρο δίνοντας μεταλλικό θάλλιο: $Zn + Tl_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + 2Tl$.
 - Μπορεί να προστεθούν ανιόντα Cl^- ή I^- , τα οποία καταβυθίζουν το θάλλιο με μορφή $TlCl$ ή TlI , ενώ παραμένει εν διαλύσει ο $FeCl_3$ που απομακρύνεται με διήθηση. Μετά:
 - Είτε ακολουθεί σύντηξη με ανθρακικό νάτριο, Na_2CO_3 και κυανιούχο κάλιο, KCN : $2TlX + Na_2CO_3 + 2KCN \rightarrow 2Tl + 2NaX + K_2CO_3 + (CN)_2$,
 - είτε το $TlCl$ ή το TlI μετατρέπονται σε Tl_2SO_4 με προσθήκη θειικού οξέος: $TlCl + H_2SO_4 \rightarrow Tl_2SO_4 + HCl$ και αυτό ή ηλεκτρολύεται ή αντιδρά με Zn δίνοντας μεταλλικό θάλλιο.
- Αν το θάλλιο πρόκειται να ανακτηθεί από τα κατάλοιπα της παραγωγής θειικού οξέος με τη μέθοδο των μολυβδίνων θαλάμων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος Lamy^[35]: Τα κατάλοιπα πρώτα κατεργάζονται με οξείδιο του μολύβδου, PbO ή με ασβέστη και μετά ξεπλένονται πολλές φορές με ζεστό νερό και φιλτράρονται. Στη συνέχεια, προστίθεται HCl οπότε γίνεται καταβύθιση του θαλλίου με μορφή ιζήματος $TlCl$. Το ιζήμα κατεργάζεται με θειικό οξύ οπότε σχηματίζεται όξινο θειικό θάλλιο (I): $TlCl + H_2SO_4 \rightarrow TlHSO_4 + HCl$,^[36] το οποίο διαλύεται σε νερό και διοχετεύεται υδρόθειο, οπότε καταβυθίζονται θειούχα ιζήματα μολύβδου, αργύρου και υδραργύρου, ενώ το θάλλιο παραμένει διαλυμένο. Το διάλυμα συμπυκνώνεται με εξάτμιση και το θάλλιο ανακτάται με προσθήκη ψευδαργύρου ή με ηλεκτρόλυση.

Παραγωγή - Αποθέματα θαλλίου

Το θάλλιο σήμερα παράγεται από τα καυσάερια των υψικαμίνων και γενικότερα τα κατάλοιπα που συλλέγονται κατά την τήξη μεταλλευμάτων κυρίως του χαλκού, του ψευδαργύρου και του μολύβδου.^[4]

Από το 1980 έως το 2002, η παγκόσμια παραγωγή θαλλίου ήταν κατά μέσο όρο 15 τόνοι τον χρόνο. Από το 2003 και μέχρι το 2009 μειώθηκε στους 10 τόνους. Οι Η.Π.Α. από το 1973 έως και το 1977 παρήγαγαν περίπου 1 τόνο θαλλίου τον χρόνο, ενώ από το 1981 και μετά σταμάτησαν εντελώς την παραγωγή του μετάλλου και των ενώσεών του και πλέον εισάγουν τις απαραίτητες ποσότητες για τις βιομηχανίες τους κυρίως από τη Ρωσία, τη Γερμανία και τις Κάτω Χώρες.^[4] Τα κατάλοιπα της επεξεργασίας θειούχων ορυκτών και μεταλλευμάτων, που περιέχουν αξιοποιήσιμες ποσότητες θαλλίου, τα εξάγουν σε άλλες χώρες στις οποίες το θάλλιο διαχωρίζεται και εξευγενίζεται. Κατόπιν, το επανεισάγουν καθαρό και ραφινρισμένο.

Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί θαλλίου είναι η Κίνα και το Καζακστάν, παρόλο που κι άλλες χώρες (Γερμανία, Ρωσία, Ολλανδία) εξάγουν θάλλιο. Μόνο στο Καζακστάν το θάλλιο μορφοποιείται σε ράβδους δύο ποιοτήτων Tl-0 και Tl-1. Η ποιότητα Tl-1 αναφέρεται σε καθαρότητα τουλάχιστον 99,99 %. Οι ράβδοι θαλλίου τυλίγονται σε χαρτί παραφίνης εξαιτίας της τοξικότητας του μετάλλου αλλά και για να αποφευχθεί η οξείδωση από τον αέρα.^[37]

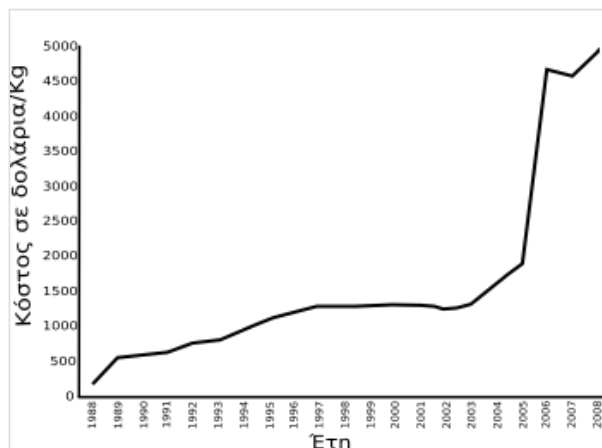
Το παγκόσμιο απόθεμα του μετάλλου εκτιμάται από τη Γεωλογική Υπηρεσία των Η.Π.Α. (USGS) συνολικά σε 380 τόνους, από τους οποίους οι 32 βρίσκονται στις Η.Π.Α. και οι υπόλοιποι στον υπόλοιπο κόσμο. Τα παγκόσμια αποθέματα θαλλίου που περιέχονται σε ορυκτά του ψευδαργύρου εκτιμώνται σε 17.000 τόνους και τα περισσότερα βρίσκονται στον Καναδά,

στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη. Θάλλιο έχει εντοπιστεί επίσης και σε κοιτάσματα γαιανθράκων, αλλά ακόμη δεν έχει βρεθεί οικονομικός τρόπος ανάκτησής του. Στα κοιτάσματα αυτά και σε όλο τον κόσμο, εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 630.000 τόνοι του μετάλλου.^[4]

Οικονομικά στοιχεία

Το θάλλιο είναι σήμερα το 9ο ακριβότερο μέταλλο. Η εκτιμώμενη τιμή για μέταλλο καθαρότητας 99,999 % σε μορφή κόκκων ή ράβδων 100 έως 250 g για το 2009 εκτιμήθηκε σε περίπου 5.700 δολάρια/Kg καθώς η προσφορά είναι σχετικά περιορισμένη.^[4] Η τιμή του θαλλίου αυξάνεται σταθερά τα τελευταία χρόνια και ήδη έχει τριπλασιαστεί από το 2005

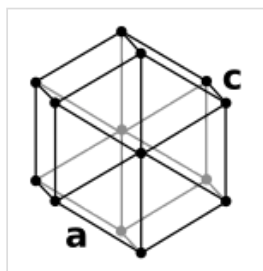
Για περίπου 40 χρόνια, από το 1942 έως το 1980, η τιμή του θαλλίου ήταν κατά μέσο όρο περίπου 21 δολάρια/Kg. Αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι η μόνη χρήση του θαλλίου και των ενώσεών του ήταν σε ποντικοφάρμακα και εντομοκτόνα. Από το 1981 έως και το 1986, η τιμή ανέβηκε στα 86 δολάρια/Kg κατά μέσο όρο επειδή σταμάτησε η οικιακή χρήση του για εξολόθρευση τρωκτικών λόγω της τοξικότητάς του.^[38] Από το 1987 και μετά υπήρξε μια ραγδαία αύξηση της τιμής η οποία από τα 176 δολάρια/Kg το 1988 (τιμές δολαρίου 2008) εκτοξεύθηκε στα 948 δολάρια/Kg το 1994, για μια δεκαετία από το 1995 έως το 2005 έμεινε κατά μέσο όρο στα 1300 δολάρια/Kg και μετά αυξήθηκε πάλι από τα 4650 δολάρια/Kg το 2006 στα 4900 δολάρια/Kg το 2008. Αυτή η αύξηση του κόστους του θαλλίου αποδίδεται στο γεγονός ότι παράλληλα με τις παραδοσιακές χρήσεις, άρχισε να βρίσκει εφαρμογή στην έρευνα και στην κατασκευή ημιαγωγών, ενώ ισότοπα του άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και στην καρδιαγγειακή απεικόνιση για την ανίχνευση καρδιακών νοσημάτων. Με την εμφάνιση αυτών των νεότερων και ασφαλέστερων χρήσεων του θαλλίου, αυξήθηκε και η ζήτηση για μεγαλύτερη καθαρότητα του μετάλλου και κατά συνέπεια και το κόστος του.^[38]



Μεταβολή τιμών θαλλίου από το 1988 έως το 2008^[38]

Ένα άλλο γεγονός που επηρέασε την παγκόσμια αγορά θαλλίου στα μέσα του 2009 ήταν η έλλειψη του ισότοπου τεχνητίου-99 που χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική απεικόνιση, λόγω εργασιών επισκευής στους δύο από τους πέντε αντιδραστήρες παραγωγής του ισότοπου στον Καναδά και στις Κάτω Χώρες και χωρίς να ήταν σαφές το πότε θα ολοκληρώνονταν αυτές οι εργασίες. Το ⁹⁹Tc έχει μικρό χρόνο ημιζωής, δε μπορεί να αποθηκευθεί και προτιμάται στην ιατρική έναντι άλλων ραδιοϊσοτόπων λόγω του κόστους, της διαθεσιμότητας και της ανώτερης εικόνας που παράγει. Η πιο κοινή εναλλακτική λύση ήταν το ισότοπο ²⁰¹Tl το οποίο στις Η.Π.Α. κάλυπτε μέχρι τότε περίπου το 25 % των απεικονίσεων. Σε αντιστάθμιση της έλλειψης του Tc, ορισμένοι παραγωγοί ιατρικού εξοπλισμού αύξησαν την παραγωγή ²⁰¹Tl προκειμένου να ανταποκριθούν στην αναμενόμενη ζήτηση.^[4]

Φυσικά χαρακτηριστικά



Κρύσταλλος α-Tl,
 $a = 345,63 \text{ pm}$
 $c = 552,63 \text{ pm}$

Το θάλλιο απαντά με τρεις αλλοτροπικές μορφές^[1]:

- Η α-μορφή είναι η πιο γνωστή και απαντά στις συνηθισμένες συνθήκες. Κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα και έχει τον τύπο δομής του μαγνησίου. Όταν αναφερόμαστε γενικά στο θάλλιο, εννοούμε αυτήν τη μορφή.
- Η β-μορφή εμφανίζεται σε θερμοκρασίες πάνω από τους 229,85 °C, κρυσταλλώνεται στο ενδοκεντρωμένο κυβικό σύστημα με παράμετρο $a = 387,9 \text{ pm}$ και έχει τύπο δομής του βολφραμίου.
- Η γ-μορφή εμφανίζεται σε υψηλές πιέσεις, κρυσταλλώνεται στο ολοεδρικό κεντρωμένο κυβικό σύστημα και έχει τον τύπο δομής του χαλκού.

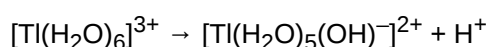
Το θάλλιο είναι μέταλλο ασημόγκριζο με ελαφριά γαλαζωπή απόχρωση. Οι φυσικές του ιδιότητες προσομοιάζουν με εκείνες του δεξιού γείτονά του στον περιοδικό πίνακα, του μολύβδου. Σε πρόσφατη τομή έχει έντονη μεταλλική λάμψη. Σε καθαρή κατάσταση είναι μαλακό όπως το νάτριο και μπορεί εύκολα να κοπεί με μαχαίρι ή να χαραχθεί ακόμη και με το νύχι του χεριού. Έχει σκληρότητα στην κλίμακα Mohs 1,2 και βρίσκεται μεταξύ τάλκη και γύψου.^[39] Είναι ελατό χωρίς μεγάλη αντοχή και αφήνει μαύρο ίχνος, όπως ο μολύβδος, όταν συρθεί πάνω σε χαρτί. Όταν τεντωθεί απότομα, "βγάζει" χαρακτηριστικό ήχο όπως ο κασσίτερος και το ίνδιο.^[35] Έχει το μεγαλύτερο λόγο Poisson^[Σημ. 3] από όλα τα χημικά στοιχεία: 0,45.

Η πυκνότητά του είναι 11,85 g/cm³ ενώ στην υγρή φάση είναι 11,22 g/cm³. Έχει μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής, 2,99×10⁻⁵ °C⁻¹ που είναι ο 8ος μεγαλύτερος μεταξύ των χημικών στοιχείων.^[39]

Το θάλλιο είναι διαμαγνητικό υλικό και καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Έχει την 33η μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταξύ 80 χημικών στοιχείων. Γίνεται υπεραγώγιμο στους -270,77 °C.^[39]

Χημικά χαρακτηριστικά

Σε υδατικό διάλυμα, το μεταλλικό θάλλιο είναι εφυδατωμένο, [Tl(H₂O)₆]³⁺ και έχει όξινο χαρακτήρα όπως φαίνεται και από την αντίδραση^[40]:



Τα εξαένυδρα ιόντα είναι σταθερά παρουσία χλωρικών ανιόντων, ClO₄⁻, αλλά όταν είναι παρόντα αλογονοϊόντα ή άλλα σύμπλοκα ιόντα, αντικαθίστανται τα μόρια νερού.^[41] Ο δεσμός Tl—Tl έχει μήκος αρκετά μεγάλο, 349 pm.^[42]

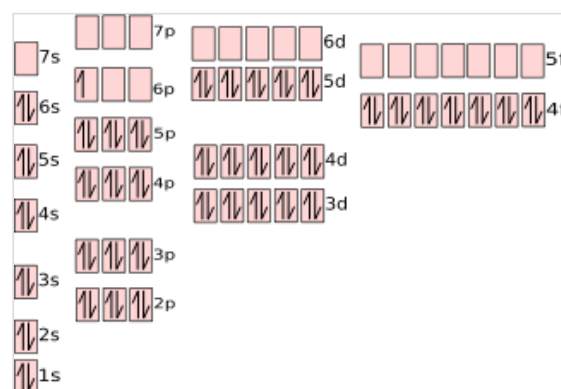
Ηλεκτρονιακή δόμηση - Θέση στον περιοδικό πίνακα

Το θάλλιο ανήκει στην 13η ομάδα (παλιότερος συμβολισμός ΙΙΑ) και στο p-block, δηλαδή το εξωτερικό του ηλεκτρόνιο ανήκει σε p-τροχιακό. Τα στοιχεία του p-block παρουσιάζουν μεταξύ τους μεγάλες διαφορές στις φυσικοχημικές ιδιότητες, διότι είναι ο μόνος τομέας που περιέχει μέταλλα, αμέταλλα και ευγενή αέρια.^[43]

Το θάλλιο, ταξινομείται επίσης στα λεγόμενα πλωχά μέταλλα (poor metals), όρος που δεν είναι αναγνωρισμένος από την IUPAC. Αυτά είναι 14 στοιχεία του τομέα-p που δημιουργούν ένα τρίγωνο δεξιά των στοιχείων μετάπτωσης στον περιοδικό πίνακα και είναι το αργίλιο, το γάλλιο, το ίνδιο, το θάλλιο, το γερμάνιο, ο κασσίτερος, ο μόλυβδος, το αντιμόνιο, το βισμούθιο, το πολόνιο και τα στοιχεία 113, 114, 115 και 116. Είναι ηλεκτραρνητικότερα των μεταβατικών μετάλλων, πιο μαλακά από αυτά και έχουν θερμοκρασίες τήξης και βρασμού γενικά χαμηλότερες. Διακρίνονται ωστόσο από τα μεταλλοειδή επειδή έχουν πολύ μεγαλύτερα σημεία βρασμού.^[43]

Σχετικιστικά φαινόμενα στα τροχιακά - Φαινόμενο αδρανούς ζεύγους. Καθώς ο πυρήνας ενός ατόμου έλκει ένα ηλεκτρόνιο, θεωρούμενο ως σωματίδιο, αυτό επιταχύνεται εξαιτίας της ακτινικής ταχύτητας που αποκτά και η οποία αυξάνεται, προσεγγίζοντας την ταχύτητα του φωτός, καθώς αυξάνεται το φορτίο, άρα και η έλξη, του πυρήνα. Η αύξηση της ταχύτητας του ηλεκτρονίου όμως συνεπάγεται και σχετικιστική αύξηση της μάζας του και κατά συνέπεια ελάττωση (συστολή) της ακτίνας του Bohr του ηλεκτρονίου, αφού μάζα και ακτίνα είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σχετικιστική συστολή (relativistic contraction) και είναι υπολογίσιμο στα δύο ηλεκτρόνια s τροχιακών, λιγότερο στα p και

Ατομικός αριθμός (Z)	Χημικό στοιχείο	Ηλεκτρόνια ανά στιβάδα
5	<u>Βόριο</u>	2, 3
13	<u>Αργίλιο</u>	2, 8, 3
31	<u>Γάλλιο</u>	2, 8, 18, 3
49	<u>Ίνδιο</u>	2, 8, 18, 18, 3
81	<u>Θάλλιο</u>	2, 8, 18, 32, 18, 3
113	<u>Νιχόνιο</u>	2, 8, 18, 32, 32, 18, 3



Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση Tl

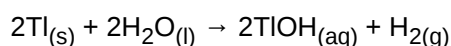
δεν εμφανίζεται στα d και f τροχιακά των οποίων τα ηλεκτρόνια δε σπαταλούν πολύ χρόνο κινούμενα κοντά στον πυρήνα.^[44] Όταν το ηλεκτρικό φορτίο του πυρήνα αυξάνεται, αυξάνεται και η σχετικιστική συστολή με αποτέλεσμα τα δύο ηλεκτρόνια σε απομακρυσμένα, από τον πυρήνα, s τροχιακά να μην ιονίζονται εύκολα και επομένως να μη συμμετέχουν εύκολα σε χημικούς δεσμούς. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως *φαινόμενο αδρανούς ζεύγους* (inert pair effect) και παρουσιάζει μεγάλη ένταση στο θάλλιο, που έχει εξωτερικά ηλεκτρόνια $6s^2 6p^1$ γι' αυτό οι ενώσεις του Tl(I) είναι σταθερότερες από εκείνες του Tl(III) που είναι σχετικά σπανιότερες.^[44]

Χημικές αντιδράσεις

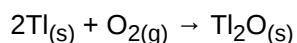
Οι ενέργειες ιονισμού^[45] (σε KJ/mol) των σταδιακών μετατροπών του θαλλίου σε ιόντα από Tl^+ έως Tl^{10+} καθώς και τα δυναμικά ημιαντιδράσεων αναγωγής διαφόρων ενώσεων^[45] και ιόντων του Tl, βρίσκονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Ενέργειες ιονισμού		Δυναμικά αναγωγής	
Μετατροπή	Ενέργεια ιονισμού (KJ/mol)	Ημιαντίδραση	Δυναμικό E^0 (V)
$Tl - Tl^+$	589,3	$Tl^{3+} + 2e^- \rightleftharpoons Tl^+$	+1,25
$Tl^+ - Tl^{2+}$	1971	$Tl^+ + e^- \rightleftharpoons Tl_{(s)}$	-0,336
$Tl^{2+} - Tl^{3+}$	2878	$Tl_2O_3 + 3H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 2Tl^+ + 6OH^-$	+0,02
$Tl^{3+} - Tl^{4+}$	4900	$TlOH + e^- \rightleftharpoons Tl_{(s)} + OH^-$	-0,344
$Tl^{4+} - Tl^{5+}$	6100	$TlCl_{(s)} + e^- \rightleftharpoons Tl_{(s)} + Cl^-$	-0,557
$Tl^{5+} - Tl^{6+}$	8300	$TlBr_{(s)} + e^- \rightleftharpoons Tl_{(s)} + Br^-$	-0,657
$Tl^{6+} - Tl^{7+}$	9500	$TlI_{(s)} + e^- \rightleftharpoons Tl_{(s)} + I^-$	-0,766
$Tl^{7+} - Tl^{8+}$	11300		
$Tl^{8+} - Tl^{9+}$	14000		
$Tl^{9+} - Tl^{10+}$	16000		

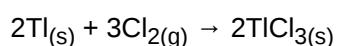
Το μεταλλικό θάλλιο μαυρίζει αργά όταν είναι εκτεθειμένο σε ατμόσφαιρα με αυξημένη υγρασία^[46] και διαλύεται στο νερό δίνοντας το δηλητηριώδες υδροξείδιο του θαλλίου (I) (s=στερεό, g=αέριο, l=υγρό, aq=υδατικό διάλυμα):



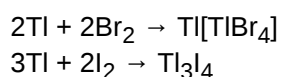
Όταν εκτεθεί στον ξηρό αέρα καλύπτεται από λεπτό στρώμα οξειδίου ενώ όταν θερμαίνεται ισχυρά παρουσία οξυγόνου καίγεται με όμορφη πράσινη φλόγα σχηματίζοντας δηλητηριώδες στερεό οξείδιο του θαλλίου (I):^[42]



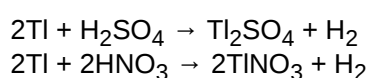
Οι αντιδράσεις του Tl(I) με τα αλογόνα σε θερμοκρασία δωματίου δε μοιάζουν με εκείνες των άλλων στοιχείων της 13ης ομάδας. Με το χλώριο η αντίδραση είναι^[46]:



Αλλά με το βρώμιο και με το ιώδιο είναι^[18]:



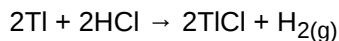
Το θάλλιο διαλύεται αργά στο αραιό θειικό και νιτρικό οξύ:^[35]



Διαλύεται αργά στο υδροχλωρικό οξύ σχηματίζοντας αδιάλυτο χλωριούχο θάλλιο (I), $TlCl$:^[42]



Διαβρωμένη ράβδος θαλλίου



Το θάλλιο δεν αντιδρά με το υδρογόνο, τον άνθρακα, το πυρίτιο και το βόριο ενώ για να αντιδράσει με το θείο, το σελήνιο και το τελλούριο πρέπει πρώτα να θερμανθεί.^[42]

Αντιδρά εύκολα με τις αλκοόλες δίνοντας TIOH ή TIOR ^[42] (R = αλκύλιο = $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ — με $n = 1, 2, 3 \dots$)

Σχηματίζει κράματα με πολλά μέταλλα και ιδιαίτερα με το κάλιο, τον μόλυβδο, τον υδράργυρο, το μαγνήσιο, το ασβέστιο, τον χρυσό, τον άργυρο, το κάδμιο, τον χαλκό και τον ψευδάργυρο.

Ανίχνευση θαλλίου με φασματοσκοπικές μεθόδους

Το θάλλιο έχει δύο έντονες γραμμές εκπομπής στα 377,57 nm και στα 535,05 nm. Η καλύτερη διακριτικότητα στη φλογοφασματοφωτομετρία εκπομπής επιτυγχάνεται με φλόγα ακετυλενίου-οξειδίου του αζώτου με κόκκινη ζώνη 4 mm. Τα άτομα θαλλίου είναι παρόντα ως ελεύθερα άτομα. Παρόλα αυτά, με χρήση της προηγούμενης φλόγας, παρατηρείται ιονισμός κατά 40 % γι' αυτό στα δείγματα προς εξέταση ή στα πρότυπα δείγματα πρέπει να προστίθεται κάποιος αναστολέας ιοντισμού έτσι ώστε να αποτρέπεται η δημιουργία ιόντων θαλλίου.^[47]

Πολλά στοιχεία και ανιόντα φαίνεται να ενισχύουν την απορρόφηση της γραμμής στα 276,78 nm, κάποια αναμφίβολα διαμέσου του αναστολέα ιοντισμού του θαλλίου.

Την ανίχνευση παρεμποδίζουν σύμπλοκα με βρώμιο μέσα σε 4-μεθυλο-2-πεντανόνη ή 2-οκτανόνη ή ως χηλικές ενώσεις με διαιθυλο-διθειο-καρβαμίδιο.

Τα όρια ανίχνευσης θαλλίου για φλογοφασματομετρία ατομικής απορρόφησης στα 276,78 nm είναι τα 20 ng/mL ενώ για τη δημιουργία ανιχνεύσιμης γραμμής με εκπομπή φλόγας στα 377,57 nm είναι τα 3 ng/mL και στα 535,05 nm είναι το 1,5 ng/mL.^[47]

Ποσοτικός προσδιορισμός σε διαλύματα

Η μάζα του θαλλίου που υπάρχει με μορφή διαφόρων αλάτων σε υδατικά διαλύματα, μπορεί να προσδιοριστεί με καταβύθισή του μετάλλου με μορφή ιωδιούχου θαλλίου (I)(TII) ή χρωμικού θαλλίου (I) (TI_2CrO_4).^[35]

- Ίζημα ιωδιούχου θαλλίου (I), κίτρινου χρώματος, σχηματίζεται όταν σε διάλυμα που περιέχει μόνο άλατα θαλλίου (I), προστεθεί διάλυμα ιωδιούχου καλίου, KI, στους 80 °C : $\text{TI}^+ + \text{KI} \rightarrow \text{TII} + \text{K}^+$. Τα άλατα καλίου είναι όλα ευδιάλυτα και δεν παρεμποδίζουν. Το ίζημα απομονώνεται, πλένεται με αλκοόλη, ξηραίνεται στους 170 °C και τέλος ζυγίζεται.^[35] Εφόσον η σχετική ατομική μάζα του θαλλίου είναι περίπου 204,38 και η σχετική μοριακή μάζα του TII είναι περίπου 331,29 και αν x g είναι η μάζα του ιζήματος, το θάλλιο θα έχει μάζα $m = 0,617 \cdot x$ g.^[48]
- Αρχικά στο διάλυμα διοχετεύεται διοξείδιο του θείου, SO_2 , έτσι ώστε να αναχθούν τα άλατα με ιόντα TI^{3+} , εφόσον υπάρχουν, προς άλατα του TI^+ . Στη συνέχεια, ίζημα χρωμικού θαλλίου (I) σχηματίζεται όταν στο διάλυμα που περιέχει μόνο άλατα θαλλίου (I), προστεθεί διάλυμα χρωμικού καλίου, K_2CrO_4 , 10 % στους 80 °C : $2\text{TI}^+ + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{TI}_2\text{CrO}_4 + 2\text{K}^+$. Τα άλατα καλίου είναι όλα ευδιάλυτα και δεν παρεμποδίζουν. Το ίζημα απομονώνεται, πλένεται με διάλυμα 1 % K_2CrO_4 και μετά με 50 % αλκοόλη. Ξηραίνεται στους 120 °C και ζυγίζεται.^[35] Εφόσον η σχετική ατομική μάζα του θαλλίου είναι περίπου 204,38 και η σχετική μοριακή μάζα του TI_2CrO_4 είναι 524,76 και αν x g είναι η μάζα του ιζήματος, το θάλλιο θα έχει μάζα $m = 0,389 \cdot x$ g.^[48]

Ισότοπα

Το θάλλιο έχει 25 ισότοπα με μαζικούς αριθμούς που κυμαίνονται από 184 έως 210. Το ^{203}TI με ποσοστό συμμετοχής στο φυσικό θάλλιο 29,52 % και το ^{205}TI με 70,48 %, ^[49] είναι τα μοναδικά σταθερά ισότοπα και το ^{204}TI είναι το περισσότερο σταθερό ραδιοϊσότοπο με χρόνο ημιζωής 3,78 χρόνια.

Το ισότοπο ^{202}TI (χρόνος ημιζωής 12,23 ημέρες) μπορεί να παρασκευαστεί μέσα σε κύκλοτρο ενώ το ^{204}TI δημιουργείται από ενεργοποίηση με νετρόνια του σταθερού ισοτόπου ^{203}TI σε πυρηνικό αντιδραστήρα με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας-γ.^[50]

Το ^{201}Tl (ημιζωή 73 ώρες) διασπάται με αρπαγή ηλεκτρονίου εκπέμποντας Hg ακτίνες-X, με ενέργεια $\sim 70 - 80 \text{ KeV}$ και φωτόνια των 135 και 167 KeV με συνολική εμφάνιση 10%. Χρησιμοποιείται ευρέως για τεστ καρδιακής κόπωσης^[51]

Τοξικότητα του θαλλίου και των ενώσεών του - Προφυλάξεις

Το θάλλιο είναι θανατηφόρο για τους ανθρώπους. Η θανατηφόρος δόση για τον άνθρωπο είναι 15–20 mg/kg σωματικού βάρους (περίπου 1 g για άτομο 70 kg). Μη θανατηφόρα αποτελέσματα εμφανίζονται κάτω από αυτή τη δόση. Ωστόσο, είναι πιθανό ότι ακόμη και μικρότερες δόσεις μπορεί να προκαλέσουν θάνατο. Η ελάχιστη θανατηφόρος δόση που αναφέρθηκε ήταν 8 mg/kg. Επιπλέον, μερικοί ασθενείς έχουν διασωθεί παρόλο που εκτέθηκαν μέχρι 28 mg/kg.^[52] Η επαφή με το δέρμα είναι επικίνδυνη και πρέπει να προβλέπεται επαρκής αερισμός του χώρου στον οποίο πρόκειται να κατεργαστεί το μέταλλο. Επίσης, το θάλλιο πιθανόν να είναι ύποπτο καρκινογενέσεων.^[46]

Η υψηλή τοξικότητα του θαλλίου οφείλεται εν μέρει και στο ότι το ιόν Tl^+ , όταν βρίσκεται σε υδατικό διάλυμα, παρουσιάζει χημικές ομοιότητες με τα ιόντα των αλκαλιμετάλλων και ιδιαίτερα με το κάλιο με το οποίο έχει και παραπλήσια ατομική ακτίνα. Έτσι, τα ιόντα Tl^+ , μπορούν να περάσουν στο σώμα μέσω των οδών πρόσληψης καλίου. Ωστόσο, άλλες πτυχές της χημείας του θαλλίου είναι πολύ διαφορετικές από εκείνες των αλκαλίων όπως π.χ. η μεγάλη συγγένεια με υποκαταστάτες θείου στα σύμπλοκα λόγω της παρουσίας των κενών d-τροχιακά. Έτσι, το θάλλιο διαταράσσει πολλές κυτταρικές διαδικασίες όπως είναι για παράδειγμα η αλλοίωση που μπορεί να επιφέρει σε πρωτεϊνικά σύμπλοκα που περιέχουν θείο όπως παράγωγα της κυστεΐνης.

Μεταξύ των συνεπειών της δηλητηρίασης από θάλλιο είναι η τριχόπτωση, γεγονός το οποίο πριν τη διαπίστωση της τοξικότητας οδήγησε στη χρήση του ως αποτριχωτικού, καθώς και οι βλάβες σε περιφερικά νεύρα. Τα θύματα αισθάνονται σα να περπατάνε σε καυτά κάρβουνα.

Το θάλλιο ήταν κάποτε αποτελεσματικό όπλο δολοφονιών πριν γίνουν κατανοητά τα αποτελέσματά του. Εξαιτίας της χρήσης του ως δηλητηρίου στην πραγματική ζωή, αλλά και στη λογοτεχνία, απέκτησε το υποκοριστικό «Το δηλητήριο των Δηλητηριαστών» και η «Σκόνη της Κληρονομιάς», ίσως επειδή το χρησιμοποιούσαν για δολοφονίες οι κληρονόμοι πλούσιων ανθρώπων (μαζί με το αρσενικό). Αποτελεσματικό αντίδοτο τόσο για το κανονικό όσο και για το ραδιενεργό θάλλιο, αποτελεί το πρωσσικό μπλε ή «κυανούν του Βερολίνου» ή «κυανούν του Turnbull», $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$.^[53] Η ουσία αυτή είναι στερεό υλικό ανταλλαγής ιόντων που ανταλλάσσει το θάλλιο με κάλιο. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας, ένας ενήλικας μπορεί να δεχθεί τουλάχιστον 10 γραμμάρια της ουσίας αυτής την ημέρα χωρίς σοβαρή βλάβη. Στις δηλητηριάσεις από θάλλιο, χορηγούνται μέχρι 20 g την ημέρα από το στόμα τα οποία περνάνε από το πεπτικό σύστημα και αποβάλλονται με τα κόπρανα.

Επίσης ως θεραπείες ενδείκνυνται η αιμοκάθαρση και η αιμοδιάχυση για την αφαίρεση του θαλλίου από τον ορό του αίματος. Σε μεταγενέστερο στάδιο χρησιμοποιείται και κάλιο για να απομακρύνει το θάλλιο από τους ιστούς του σώματος.^[54]

Ως φάρμακο για τη δηλητηρίαση από θάλλιο αναφέρεται και ο Βρετανικός Αντι-Λεβισίτης (British Anti-Lewisite, BAL), ClCHCHAsCl_2 , μια ένωση που ταξινομείται στις αρσίνες και χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ως αντίδοτο στο δηλητηριώδες αέριο λεβισίτη.^[44]

Από τις ενώσεις του θαλλίου, ιδιαίτερα τοξικό είναι το άοσμο και άγευστο θειικό θάλλιο που χρησιμοποιήθηκε ως δηλητήριο κατά των ποντικών και των μυρμηγκιών. Από το 1975 απαγορεύθηκε η χρήση του στις Η.Π.Α. και σε άλλες χώρες για λόγους ασφαλείας.^[55]

Τα όρια έκθεσης που καθόρισαν οι Η.Π.Α. είναι για τα διαλυτά άλατα (εκφρασμένα ως Tl) και για το δέρμα :^[56]

- IDLH:^[Σημ. 4] 15 mg/m³.
- NIOSH REL^[Σημ. 5]: TWA^[Σημ. 6] 0,1 mg/m³.
- OSHA PEL^[Σημ. 7] : TWA 0,1 mg/m³

Ενώσεις του θαλλίου

Το θάλλιο σχηματίζει ενώσεις με αριθμούς οξείδωσης +1 και +3. Οι ενώσεις του Tl^+ είναι πολύ σταθερές σε σχέση με τις ενώσεις του Tl^{3+} οι οποίες ανάγονται εύκολα προς ενώσεις Tl^+ γεγονός που φαίνεται και από το θετικό κανονικό δυναμικό της ημιαντίδρασης σε υδατικό διάλυμα : $Tl^{3+} + 2e \rightarrow Tl^+$, $E^0 = +1,25 \text{ V}$.^[35]

Φασματοσκοπικά έχει διαπιστωθεί και η ύπαρξη του κατιόντος Tl^{2+} σε γ-ακτινοβολημένα υδατικά διαλύματα Tl_2SO_4 σε κατάσταση ψύξης και έχει προταθεί η χρήση του ως ενδιάμεσο στη φωτοχημική αναγωγή διαλυμάτων Tl^{3+} . Έχουν μάλιστα παρασκευαστεί και ενώσεις του $Tl(II)$ με αλογόνα όπως $Tl[TlX_4]$ ($X = Cl, Br$) και $Tl_3[TlX_6]$.^[2]

Ενώσεις του θαλλίου (I)

Οι περισσότερες ενώσεις του $Tl(I)$ προσομοιάζουν, από χημική άποψη, με τις αντίστοιχες των αλκαλιμετάλλων και ιδιαίτερα του καλίου^[57] όπως φαίνεται και από τους παρακάτω λόγους :

- Οι ιοντικές ακτίνες Tl^+ και K^+ είναι παραπλήσιες, 154 και 133 pm αντίστοιχα.^[40]
- Το υδροξείδιο του θαλλίου (I), $TlOH$, είναι ισχυρή βάση, ασθενέστερη όμως από τα υδροξείδια των αλκαλιμετάλλων,^[40] εντούτοις δεσμεύει το διοξείδιο του άνθρακα, CO_2 , δίνοντας το ανθρακικό θάλλιο (I), Tl_2CO_3 ($2TlOH + CO_2 \rightarrow Tl_2CO_3 + H_2O$) που είναι το μόνο υδατοδιαλυτό ανθρακικό άλας βαρέος μετάλλου^[42] (υδατοδιαλυτά είναι και τα ανθρακικά άλατα των αλκαλιμετάλλων).
- Το κυανιούχο, το υπερχλωρικό, το θειούχο, το νιτρικό, το φωσφορικό $Tl(I)$ είναι όλα σταθερά και ισόμορφα με τα αντίστοιχα άλατα των μετάλλων των αλκαλίων.
- Το φθοριούχο θάλλιο (I), TlF , έχει την ίδια κρυσταλλική δομή με το χλωριούχο νάτριο, $NaCl$, ενώ τα άλλα αλογονίδια του θαλλίου (I) έχουν τη δομή του χλωριούχου καισίου, $CsCl$.
- Όπως και τα αλκαλιμέταλλα, το θάλλιο σχηματίζει **στυπτηρίες**^[Σημ. 8] με το αργίλιο του τύπου $Tl_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$.

Πολλές ενώσεις του θαλλίου (I) μοιάζουν και με τις αντίστοιχες του αργύρου διότι^[40] :

- Η ιοντική ακτίνα του Ag^+ είναι 126 pm, παραπλήσια με την αντίστοιχη του Tl^+ (154 pm).
- Το οξείδιο Tl_2O και το σουλφίδιο Tl_2S έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες και χρήσεις με το Ag_2O και το Ag_2S αντίστοιχα.
- Το χλωριούχο θάλλιο (I), $TlCl$, είναι λευκό αδιάλυτο στερεό όπως και ο χλωριούχος άργυρος, $AgCl$, ενώ το βρωμιούχο θάλλιο (I), $TlBr$, είναι κίτρινωπό επίσης αδιάλυτο στερεό όπως και ο βρωμιούχος άργυρος, $AgBr$. Τα αλογονίδια του $Tl(I)$ όμως δε σχηματίζουν σύμπλοκα με αμμωνία, όπως τα αντίστοιχα του αργύρου.^[42]

Αλογονίδια. Το TlF είναι λευκό κρυσταλλικό στερεό πολύ διαλυτό στο νερό. Το $TlCl$ είναι λευκό φωτοευαίσθητο^[40] στερεό πρακτικά αδιάλυτο στο νερό όπως και το $TlBr$ που είναι ελαφρά κίτρινωπό στερεό επίσης με ευαισθησία στο φως. Το TlI είναι κίτρινο στερεό, αδιάλυτο κι αυτό στο νερό,^[18] που γίνεται κόκκινο σε ψηλές θερμοκρασίες. Υπάρχουν και αλογονίδια που περιέχουν Tl^+ και δύο αλογόνα όπως το κόκκινο βρωμοϊωδιούχο θάλλιο (I) (με τύπο $TlBr_{0,4}I_{0,6}$ και κωδικό KRS-5)^[58] και το άχρωμο βρωμοχλωριούχο θάλλιο (I) τύπο $TlBr_{0,3}Cl_{0,7}$ και κωδικό KRS-6)^[59] που χρησιμοποιούνται στη φασματοσκοπία ως οπτικά υλικά για τη μετάδοση, διάθλαση και την εστίαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Ενώσεις με O, S, N, P, As, Sb, Bi. Το Tl_2O είναι σταθερή ένωση, σχηματίζεται όταν το Tl_2CO_3 θερμαίνεται σε ατμόσφαιρα αζώτου^[18] και όταν διαλύεται στο νερό δίνει υδροξείδιο $TlOH$. Το Tl_2S είναι μαύρο ίζημα που σχηματίζεται όταν διέλθει αέριο H_2S μέσα από διάλυμα άλατος $Tl(I)$. Τα σουλφίδια TlS_2 , Tl_2S_5 , Tl_2S_9 είναι πολυσουλφίδια του $Tl(I)$. Το τρισουλφίδιο Tl_4S_3 είναι μικτό και έχει τη δομή $Tl^I_3[Tl^{III}S_3]$. Το $Tl(I)$ σχηματίζει με το άζωτο της ενώσεις Tl_3N , TlN_3 , $Tl(N_3)_2$ που έχει τη δομή $Tl^I[Tl^{III}N_3]_4$ και με το φωσφόρο της ενώσεις Tl_3P , TlP_3 , TlP_5 . Γνωστές είναι και οι ενώσεις Tl_3As , Tl_3Sb , Tl_3Bi , $TlBi_2$.^[42] Η ένωση $TlOTeF_5$ έχει συντεθεί με απευθείας αντίδραση TlF και $HOTeF_5$ και είναι διαλυτή στο τολουόλιο (μεθυλοβενζόλιο $C_6H_5-CH_3$) και στο μεσιτυλένιο (1,3,5-τριμεθυλοβενζόλιο, C_9H_{12}) από το οποίο κρυσταλλώνεται με τη μορφή $[TlOTeF_5(mes)_2]_2 \cdot mes$.^[60]

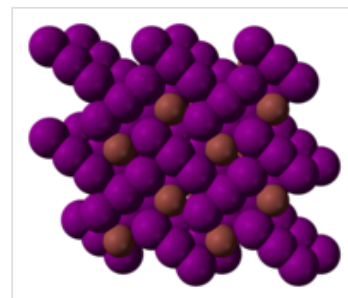
Υδροξείδιο. Το $TlOH$ είναι ευδιάλυτο στο νερό και ισχυρή βάση, ισχυρότερη από το $Tl(OH)_3$.

Υδρίδια. Το θαλλιλένιο (thallylene, TlH) έχει μήκος δεσμού Tl-H 187 pm και σχηματίζεται ως ασταθής ουσία όταν ατομικό υδρογόνο διέλθει πάνω από το μέταλλο σε υψηλή θερμοκρασία ή ηλεκτροχημικά μεταξύ ανόδου από χαλκό και καθόδου από θάλλιο σε ατμόσφαιρα H₂. Παράγωγο του TlH είναι η ένωση TlBH₄ που είναι σταθερή μέχρι τους 40 °C.^[42]

Οργανικές ενώσεις του Tl(I). Σύμπλοκο με κυκλοπενταδιενική ομάδα (Cp- = C₅H₅⁻) του θαλλίου (I) παρασκευάζεται με επίδραση TlOH στο κυκλοπενταδιένιο, CpH (C₅H₆) : TlOH + CpH → TlCp + H₂O σε διάλυμα NaOH και σε θερμοκρασία δωματίου. Το TlCp είναι κιτρινωπό κρυσταλλικό στερεό σταθερό στον αέρα και στο νερό.^[42]

Ενώσεις του θαλλίου (III)

Αλογονίδια. Τα τριαλογονίδια του θαλλίου είναι λιγότερο σταθερά και τελείως διαφορετικά από χημικής άποψης από τις αντίστοιχες ενώσεις του αργιλίου, του γαλλίου και του ινδίου. Τα TlCl₃, TlBr₃ είναι ομοιοπολικές ενώσεις σε άνυδρη μορφή και είναι πολύ ασταθείς μετατρέπόμενες στα αντίστοιχα αλογονίδια του Tl(I).^[18] Το TlF₃ είναι το σταθερότερο από τα προηγούμενα,^[42] παρουσιάζει ιοντικό χαρακτήρα και έχει υψηλό σημείο βρασμού. Το TlI₃ στην πραγματικότητα δεν περιέχει Tl³⁺ αλλά είναι ένωση του Tl⁺ που περιέχει το γραμμικό τριωδιούχο ιόν I₃⁻^[2] και έχει το συντακτικό τύπο Tl⁺[I-I-I]⁻.^[18]



Η κρυσταλλική δομή του τριωιδίου του θαλλίου (I), Tl^II₃

Οξείδιο, οξοενώσεις, σουλφίδιο, σεληνίδιο, τελλουρίδιο. Το Tl₂O₃ είναι αδιάλυτο στο νερό και αποσυντίθεται στα οξέα. Σε πυκνό διάλυμα NaOH και παρουσία Ba(OH)₂, το ένυδρο Tl₂O₃·xH₂O σχηματίζει Ba₂[Tl(OH)₆]OH.^[18] Γνωστές είναι και οι οξο-ενώσεις TlO(OH), TlOX. Οι ενώσεις Tl₂S₃, Tl₂Se₃, Tl₂Te₃ πιθανόν περιέχουν Tl(I) παρά Tl(III).^[42]

Υδροξείδιο. Το Tl(OH)₃ δε διαλύεται στο νερό και δεν έχει τόσο έντονο αλκαλικό χαρακτήρα όπως το TlOH.^[57]

Υδρίδια. Ενώ έχουν περιγραφεί σταθερά υδρίδια των άλλων στοιχείων της 13ης ομάδας του περιοδικού πίνακα όπως π.χ. τα βοράνια, (BH₃)_n, τα αργιλάνια, (AlH₃)_n και τα γαλλάνια, (GaH₃)_n,^[42] δεν έχουν χαρακτηριστεί υδρίδια ινδίου και θαλλίου που είναι θεωρητικές ενώσεις με ονόματα ινδάνια (InH₃)_n και θαλλάνια (TlH₃)_n. Οι ενώσεις αυτές πρέπει να είναι πάρα πολύ ασταθείς και αποσυντίθενται αμέσως προς μέταλλο και υδρογόνο. Αντιθέτως είναι γνωστες άλλες υδρογονούχες ενώσεις του Tl(III) όπως το μικτό υδρίδιο λιθίου-θαλλίου, Li[TlH₄] που παρασκευάζεται σε θερμοκρασία -25 °C ή -15 °C και αποσυντίθεται στους 0 °C αλλά και το χλωρίδιο θαλλίου-διβορανίου TlCl(BH₄)₂ που παρασκευάζεται στους -110 °C και αποσυντίθεται στους -95 °C. Επίσης το διθαλλάνιο, Tl₂H₄ έχει δομή H₂Tl-TlH₂ και είναι ασταθές.^[42]

Αλογονο-σύμπλοκα. Έχουν παρασκευαστεί και μελετηθεί αρκετά αλογονο-σύμπλοκα του Tl(III) προερχόμενα από τα TlCl₃, TlBr₃ και το «υποθετικό» TlI₃. Σ' αυτά περιλαμβάνονται [TlX₄]⁻ (τετραεδρικό Tl, συμμετρία T_d), [TlX₆]³⁻ (οκταεδρικό Tl, συμμετρία O_h) και Tl₂X₉³⁻ το οποίο έχει οκταεδρική δομή [X₃TlX₃TlX₃]³⁻.^[42]

Οργανικές ενώσεις. Οι οργανικές ενώσεις που περιέχουν Tl(III) είναι άχρωμα υγρά ή στερεά και παρασκευάζονται με διάφορες μεθόδους (πρωτόλυση, υδρομεταλλίωση κλπ.). Είναι ενώσεις ευαίσθητες στο νερό και στον αέρα και αποσυντίθενται με έκρηξη. Έτσι, η ένωση (CH₃)Tl λιώνει στους 38,5 °C και βράζει στους 147 °C, το υδροξείδιο (CH₃)₂TlOH είναι ισχυρή βάση και αντιδρά με υπερχλωρικό, θειικό ή νιτρικό οξύ σχηματίζοντας εφουδατωμένο ιόν (CH₃)₂Tl⁺_(aq).^[42]

Μικτά αλογονίδια

Τα μικτά αλογονίδια δεν έχουν μελετηθεί σε μεγάλο βαθμό και περιέχουν Tl(I) και Tl(III) όπου το Tl(III) είναι με τη μορφή του συμπλόκου ιόντος [TlCl₄]⁻. Ορισμένες χαρακτηριστικές ενώσεις αυτής της κατηγορίας είναι το TlCl₂ που έχει τη δομή Tl^ITl^{III}Cl₄, το κίτρινο Tl₂Cl₃ με τη δομή Tl^I₃ Tl^{III}Cl₆,^[61] το TlBr₂ με τη δομή Tl^ITl^{III}Br₄ κ.ά.

Φάσεις Τσιντλ (Zintl)

Ο όρος *φάσεις Zintl* υποδηλώνει μια κατηγορία διαμεταλλικών ιοντικών ενώσεων κάθε μια από τις οποίες αποτελείται από τη συνένωση ενός κατιόντος αλκαλιμετάλλου, μετάλλου αλκαλικών γαιών ή μετάλλου των λανθανιδών με ανιόν που προέρχεται από στοιχείο των ομάδων 13, 14, 15 ή 16. Οι ενώσεις αυτές ονομάστηκαν έτσι από τον Γερμανό χημικό Έντουαρντ Τσιντλ (Eduard Zintl) που τις ανακάλυψε τη δεκαετία του 1930. Ο όρος *Φάσεις Zintl* χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον επίσης Γερμανό χημικό Φριτς Λάφες (Fritz Laves) το 1941.^[62] Οι φάσεις Zintl δεν έχουν τις ιδιότητες των αλάτων αλλά των μετάλλων δηλ. υψηλό σημείο τήξης, είναι ελατές και όλκιμες, είναι ηλεκτρικά αγωγιμες και χρησιμοποιούνται ως ημιαγωγοί. Κλασσικότερο παράδειγμα φάσης Zintl αποτελεί η ένωση Na^+Tl^- η οποία αποτελείται από το πολυμερές ανιόν $(\text{Tl}^-)_n$ με ομοιοπολική δομή διαμαντιού μέσα στην οποία τοποθετούνται τα κατιόντα Na^+ .^[62] Στο NaTl το μήκος δεσμού $\text{Tl}-\text{Tl}$ είναι 324 pm, μικρότερο από τις αποστάσεις επαφής στο μεταλλικό θάλλιο που είναι 343 pm.^[63]

Εφαρμογές

Παλαιότερες χρήσεις. Από τις ενώσεις του θαλλίου, το θειικό θάλλιο χρησιμοποιήθηκε ως δηλητήριο κατά των ποντικών και των μυρμηγκιών. Από το 1975 απαγορεύθηκε η χρήση του στις Η.Π.Α. και σε άλλες χώρες για λόγους ασφαλείας.^[55] Άλατα θαλλίου χρησιμοποιήθηκαν στη θεραπεία διαφόρων δερματικών μολύνσεων, καθώς και στην καταπολέμηση της νυκτερινής εφίδρωσης των ασθενών που έπασχαν από ψυματίωση. Ωστόσο οι χρήσεις αυτές έχουν περιοριστεί λόγω της μικρής θεραπευτικής τους αξίας, αλλά και λόγω της ανάπτυξης πιο προηγμένων φαρμάκων.^{[64][65]}

Οπτικά υλικά. Οι κρύσταλλοι βρωμιούχου θαλλίου (I) και ιωδιούχου θαλλίου (I), με το εμπορικό όνομα KRS-5,^[66] έχουν χρησιμοποιηθεί ως υπέρυθρα οπτικά υλικά γιατί είναι σκληρότερα από τα κοινά υπέρυθρα υλικά και επειδή έχουν μετάδοση σε σημαντικά μεγαλύτερα μήκη κύματος. Το οξείδιο του θαλλίου (I) έχει χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή γυαλιών που έχουν υψηλό δείκτη διάθλασης. Σε συνδυασμό με το θείο ή το σελήνιο και το αρσενικό, το θάλλιο έχει χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή υψηλής πυκνότητας γυαλιών που έχουν χαμηλά σημεία τήξης της τάξης των 125 και 150 °C. Αυτά τα γυαλιά σε θερμοκρασία δωματίου έχουν ιδιότητες που είναι παρόμοιες με των κοινών γυαλιών, είναι όμως ανθεκτικά, αδιάλυτα στο νερό και έχουν μοναδικό δείκτη διάθλασης.^[67] Παρόλο που γίνονται μελέτες και έχουν κατασκευαστεί και άλλα υλικά για να αντικαταστήσουν το θάλλιο στους ανιχνευτές υπέρυθρης και γ-ακτινοβολίας, αυτό παραμένει ανώτερο ποιοτικά και οικονομικότερο για τις συγκεκριμένες εφαρμογές.^[4]

Ηλεκτρονικά. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του θειούχου θαλλίου, Tl_2S , μεταβάλλεται όταν αυτό εκτεθεί στο υπέρυθρο φως και αυτή η ιδιότητα το καθιστά χρήσιμο στους φωτοαγωγούς.^[68] Το σεληνιούχο θάλλιο (I), Tl_2Se έχει χρησιμοποιηθεί σε βολόμετρα, που είναι όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ακτινοβολούμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, για ανίχνευση υπέρυθρων ακτινοβολιών.^[69] Ο «εμβολιασμός» των ημιαγωγών σεληνίου με θάλλιο βελτιώνει την απόδοσή τους, και ως εκ τούτου το θάλλιο χρησιμοποιείται σε ίχνη στους ανορθωτές σεληνίου.^[68] Ο «εμβολιασμός» (doping) με θάλλιο χρησιμοποιείται και στους κρυστάλλους ιωδιούχου νατρίου (NaI) που βρίσκονται σε συσκευές ανίχνευσης ακτινοβολίας γάμμα. Η προσθήκη ιχνών θαλλίου ενεργοποιεί τους κρυστάλλους NaI και αυξάνει την αποτελεσματικότητά τους ως γεννήτριες σπινθηρισμών.^[70] Επίσης, ορισμένα από τα ηλεκτρόδια στους αναλυτές διαλυμένου οξυγόνου περιέχουν θάλλιο.^[55]

Υπεραγωγιμότητα υψηλής θερμοκρασίας. Τα τελευταία είκοσι χρόνια βρίσκονται σε εξέλιξη έρευνες με θάλλιο για την ανάπτυξη υπεραγώγιμων υλικών υψηλής θερμοκρασίας τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη μαγνητική τομογραφία, στην αποθήκευση μαγνητικής ενέργειας, στη μαγνητική πρόωση, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μεταφοράς. Οι έρευνες ξεκίνησαν μετά την ανακάλυψη το 1988 του πρώτου υπεραγωγού με τύπο $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (TBCCO-2223) που έχει θερμοκρασία μετάβασης σε υπεραγώγιμη κατάσταση $-146,15\text{ }^\circ\text{C}$.^[71] Το υλικό αυτό ανήκει στην οικογένεια υπεραγωγών υψηλής θερμοκρασίας που αναφέρονται ως θάλλιο ασβέστιο βάριο χαλκός οξείδιο ή TBCCO (προφέρεται «τίμπκο») και έχουν γενικό τύπο $\text{Tl}_m\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+m+2}$.

Πυρηνική ιατρική. το ραδιενεργό ισότοπο θάλλιο-201 (^{201}Tl) με χρόνο ημιζωής 73 ωρών ήταν το κύριο διαγνωστικό εργαλείο της πυρηνικής ιατρικής πριν την καθιέρωση και ευρεία εφαρμογή του τεχνητίου-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Το ^{201}Tl εξακολουθεί να χρησιμοποιείται σε τεστ κοπώσεως όπου εγχέεται ενδοφλεβίως και συσσωρεύεται στο μυοκάρδιο, αποκαλύπτοντας τις περιοχές όπου υπάρχει έμφραγμα ή ισχαιμία. Το τεστ με Tl απεικονίζει με μεγαλύτερες λεπτομέρειες τις παθολογικές καταστάσεις των ασθενών με στεφανιαία νόσο από ό,τι το απλό τεστ κοπώσεως με κυλιόμενο διάδρομο ή ποδήλατο.^[72] Το ισότοπο αυτό μπορεί να παραχθεί στον χώρο που θα χρησιμοποιηθεί από μια μεταφερόμενη γεννήτρια

παρόμοια με εκείνη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ^{99m}Tc .^[73] Η γεννήτρια περιέχει μόλυβδο-201 (^{201}Pb), που έχει ημιζωή 9,33 ώρες, ο οποίος διασπάται με αρπαγή ηλεκτρονίων προς ^{201}Tl . Ο ^{201}Pb με τη σειρά του μπορεί να παραχθεί σε κύκλοτρο από τον βομβαρδισμό θαλλίου με πρωτόνια ή δευτερόνια προερχόμενα από αντιδράσεις (p, 3n) και (d, 4n).^{[74][75]}

Άλλες εφαρμογές. Κράμα υδραργύρου-θαλλίου που γίνεται ευτηκτικό όταν περιέχει 8,5 % Tl, καταψύχθηκε στους -60 °C, δηλαδή 21 °C πιο κάτω από το σημείο πήξης του υδραργύρου. Αυτό το κράμα χρησιμοποιείται σε θερμόμετρα και σε διακόπτες που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες.^[68]

Στις οργανικές συνθέσεις, τα άλατα του Tl^{3+} όπως το νιτρικό θάλλιο (III) ή το οξικό θάλλιο (III), χρησιμοποιούνται στην πραγματοποίηση διαφόρων μετασχηματισμών σε αρωματικές ενώσεις, κετόνες, ολεφίνες κλπ.^[76] Το ανθρακικό θάλλιο (I), Tl_2CO_3 , χρησιμοποιείται ως standard διάλυμα σε τιτλοδοτήσεις με οξύ ή ιωδικό κάλιο, KIO_3 .^[35]

Το θάλλιο επίσης αποτελεί συστατικό του κράματος της ανοδικής πλάκας σε μπαταρίες μαγνησίου με θαλασσινό νερό.^[55] Το κορεσμένο υδατικό διάλυμα αποτελούμενο από ίσα μέρη μεθανικού θαλλίου (I), HCOOTl , και μηλονικού θαλλίου (I), $\text{TiOOC-CH}_2\text{-COOTl}$, είναι γνωστό ως διάλυμα Κλερίτσι (Clerici). Το διάλυμα αυτό είναι άοσμο και το χρώμα του μεταβάλλεται από κίτρινο έως διαφανές εξαιτίας της ελάττωσης της συγκέντρωσης των αλάτων θαλλίου που περιέχει. Ανακαλύφθηκε το 1907 από τον Ιταλό ορυκτολόγο και γεωλόγο Ενρίκο Κλερίτσι (Enrico Clerici)^[77] και είναι ένα από τα υδατικά διαλύματα με τη μεγαλύτερη πυκνότητα, 4,324 g/mL στους 20 °C. Η πυκνότητά του μάλιστα αυξάνεται στα 5 g/mL καθώς θερμαίνεται από τους 20 στους 90 °C. Χρησιμοποιήθηκε κατά τον 20ό αιώνα για τον διαχωρισμό ορυκτών μέσω της πυκνότητάς τους με τη μέθοδο της επίπλευσης, αλλά η χρήση του διακόπηκε λόγω της υψηλής τοξικότητας και της διαβρωτικής του ικανότητας.^{[78][79]}

Σημειώσεις

1. *The duck-billed platypus of the metals*. Το ζώο duck-billed platypus είναι ο ornithorhynchus anatinus, το γνωστό ημι-υδρόβιο θηλαστικό, ο ορνιθόρυγχος, που ανήκει στα μονοτρήματα και που ζει στην Αυστραλία. Ο Ντυμά ονόμασε το θάλλιο έτσι, μάλλον επειδή ο ορνιθόρυγχος έχει **ράμφος πάπιας** και σώμα που μοιάζει με **κάστορα**, για να τονίσει το ότι το θάλλιο έχει χημικές ομοιότητες με εντελώς διαφορετικά στοιχεία.
2. Τα κοιτάσματα τύπου Carlin μοιάζουν με αυτά που βρέθηκαν για πρώτη φορά στην *ασυνέχεια Carlin* (Carlin Unconformity) της βορειοανατολικής Νεβάδα των **Η.Π.Α.**, από όπου πήραν και το όνομά τους. Είναι ιζηματογενείς σχηματισμοί που περιέχουν αυξημένες συγκεντρώσεις μικροκρυσταλλικού χρυσού διασπαρμένες μέσα σε σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη
3. Ο λόγος Poisson (Poisson ratio, ν) είναι το κλάσμα (λόγος) της πλευρικής (εγκάρσιας) προς την αξονική παραμόρφωση. Παίρνει τιμές από 0 (ο φελλός) έως 0,5 (το καουτσούκ). Ο μόλυβδος έχει 0,44. Όταν ο ν είναι μεγάλος τότε το υλικό "λεπταίνει" πολύ όταν τεντωθεί από δύο άκρα του. Υπάρχουν και υλικά με αρνητικό ν τα οποία "παχαίνουν" όταν τεντωθούν
4. Immediately Dangerous to Life and Health (IDLH). Άμεσος κίνδυνος για τη ζωή και την υγεία. Σε περίπτωση τυχαίας έκθεσης σε ρυπαντές, αυτή είναι η συγκέντρωση κάτω από την οποία ένα άτομο θα μπορούσε να ξεφύγει μέσα σε 30 λεπτά χωρίς να πάθει μη-αναστρέψιμες βλάβες στην υγεία του.
5. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Είναι το Εθνικό Ινστιτούτο Ασφάλειας και Υγείας στους Επαγγελματικούς χώρους των Ηνωμένων Πολιτειών. Το NIOSH είναι υπεύθυνο για την έρευνα και την ανάπτυξη, προτείνει πρότυπα υγείας και ασφάλειας αλλά δε νομοθετεί. Το REL (Recommended Exposure Limit) είναι το μέγιστο όριο έκθεσης στον ρυπαντή.
6. Time Weighted Average (TWA). Είναι η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή που αποτελεί όριο έκθεσης βασισμένο στην εργασία 8 ωρών/ημέρα και 40 ωρών/εβδομάδα.
7. United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Είναι η ομοσπονδιακή υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για τη σύνταξη και την εφαρμογή ομοσπονδιακών κανονισμών που σχετίζονται με την ασφάλεια στον χώρο εργασίας. Η PEL (Permissible Exposure Limit) είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση, που επιτρέπει η OSHA στα πλαίσια του κώδικα ομοσπονδιακών κανονισμών.
8. Οι στυπτηρίες είναι ένυδρα διπλά θειικά άλατα του τύπου $\text{M}^+{}_2\text{SO}_4 \cdot \text{M}^{+3}{}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ όπου το M^+ μπορεί να είναι κατιόν αλκαλιμετάλλου, Tl, αμμωνίου αλλά και οργανικό ιόν και το M^{+3} είναι συνήθως κατιόν αργιλίου αλλά και χρωμίου, σιδήρου κ.ά. Όλες οι στυπτηρίες είναι ισόμορφες, δηλαδή έχουν την ίδια κρυσταλλική κατασκευή. Χρησιμοποιούνται στη βαφική, στη βυρσοδεψία, στη χαρτοποιία, στην παρασκευή κόλλας, στη φωτογραφική, στον καθαρισμό του νερού, στην ιατρική κ.ά.

Παραπομπές

1. Martienssen W., Warlimont H., επιμ. (2005). «Classes of materials». *Springer handbook of condensed matter and materials data* (http://books.google.gr/books?id=TnHJX79b3RwC&printsec=frontcover&dq=Springer+handbook+of+condensed+matter+and+materials+data&lr=&as_brr=3&ei=HPwFTLL8HpWizQTe6bG5DA&cd=1#v=onepage&q&f=false). Springer. ISBN 978-3-540-44376-6.
2. Downs, A.J., επιμ. (1993). *Chemistry of Aluminium, Gallium, Indium and Thallium* (http://books.google.gr/books?id=v-04Kn758yIC&printsec=frontcover&dq=Chemistry+of+aluminium,+gallium,+indium,+and+thallium&hl=el&ei=ixMyTIm1NqCUsQbv0aDOBA&sa=X&oi=book_result&ct=book-thumbnail&resnum=1&ved=0CCQQ6wEwAA#v=onepage&q&f=false). ISBN 978-0-7514-0103-5.
3. «Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds» (https://web.archive.org/web/20040324080747/http://www-d0.fnal.gov/hardware/cal/lvps_info/engineering/elementmagn.pdf) (PDF). *Handbook of Chemistry and Physics* (81η έκδοση). CRC press. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://www-d0.fnal.gov/hardware/cal/lvps_info/engineering/elementmagn.pdf) (PDF) στις 24 Μαρτίου 2004.
4. «Thallium Statistics and Information» (<https://web.archive.org/web/20100715162053/http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thallium/mcs-2010-thall.pdf>) (PDF). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*. January 2010. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thallium/mcs-2010-thall.pdf>) στις 2010-07-15. <https://web.archive.org/web/20100715162053/http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/thallium/mcs-2010-thall.pdf>. Ανακτήθηκε στις 1/8/2010.
5. thallium, silver, gold abundances (<http://www.wolframalpha.com/input/?i=thallium%2C+silver%2C+gold+abundances>)
6. Webmineral: Mineral Species containing Thallium (Tl) (<http://www.webmineral.com/chem/Chem-names-Tl.shtml>)
7. Jeanne Mager Stellman (1998). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety: Chemical, industries and occupations* (<http://books.google.gr/books?id=nDhpLa1rl44C&pg=PT123&dq=#v=onepage&q&f=false>). International Labour Office.
8. Chemicool : Thallium (<http://www.chemicool.com/elements/thallium.html>)
9. βικιλεξικό: Θαλλός (<https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%B8%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CF%8C%CF%82>)
10. Lenntech : Thallium (<http://www.lenntech.com/periodic/elements/tl.htm>)
11. Jerome O. Nriagu : Thallium. Chemical & Engineering News. University of Michigan (<http://pubs.acs.org/cen/80th/thallium.html>)
12. G. Kirchhoff; R. Bunsen (1861). «Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen» (https://archive.today/20140414005744/http://graficos_snirh.ana.gov.br/Aplicativos/grafico/graficoChuva.php?tipo=Chuvass&estacao=638039&ano=1989&mes=3&xtela=1024&ytela=738). *Annalen der Physik und Chemie* **189** (7): 337–381. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www3.interscience.wiley.com/journal/112489837/abstract>) στις 2014-04-14. https://archive.today/20140414005744/http://graficos_snirh.ana.gov.br/Aplicativos/grafico/graficoChuva.php?tipo=Chuvass&estacao=638039&ano=1989&mes=3&xtela=1024&ytela=738. Ανακτήθηκε στις 2010-08-04.
13. DeKosky, Robert K. (1973). «Spectroscopy and the Elements in the Late Nineteenth Century: The Work of Sir William Crookes» (<http://www.jstor.org/stable/4025503>). *The British Journal for the History of Science* **6** (4): 400–423. <http://www.jstor.org/stable/4025503>.
14. William Crookes (March 30, 1861). «On the existence of a new element, probably of the sulphur group» (<http://books.google.com/books?id=6QcAAAAAMAAJ&pg=PA193&lpg=PA193#v=onepage&q&f=false>). *Chemical News* **III** (69): 193-194. <http://books.google.com/books?id=6QcAAAAAMAAJ&pg=PA193&lpg=PA193#v=onepage&q&f=false>. Ανακτήθηκε στις 3/8/2010.
15. William Crookes (May 18, 1861). «Further remarks on the supposed new metalloid» (<http://books.google.com/books?id=6QcAAAAAMAAJ&pg=PA303&lpg=PA303#v=onepage&q&f=false>). *Chemical News* **3**: 303. <http://books.google.com/books?id=6QcAAAAAMAAJ&pg=PA303&lpg=PA303#v=onepage&q&f=false>. Ανακτήθηκε στις 3/8/2010.
16. M.A. Lamy (May 16, 1862). «De l'existence d'un nouveau metal, le thallium» (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30115.image.r=Comptes+Rendus+Hebdomadaires.f1254.langFR>). *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des sciences* **54**: 1255-1262. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30115.image.r=Comptes+Rendus+Hebdomadaires.f1254.langFR>. Ανακτήθηκε στις 3/8/2010.

17. Weeks, Mary Elvira (1932). «The discovery of the elements. XIII. Supplementary note on the discovery of thallium» (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed009p2078>). *Journal of Chemical Education* **9**: 2078. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed009p2078>.
18. Catherine E. Housecroft· Alan G. Sharpe (2005). *Inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=_1gFM51qpAMC&printsec=frontcover&dq=Inorganic+chemistry+++Catherine+E.+Housecroft&hl=el&ei=4MJ2TLn1K9SS4AaXmfnMBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCkQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false) (2η έκδοση). Harlow [etc.] : Pearson Prentice Hall. ISBN 0130399132.
19. James, Frank A. J. L. (1984). «Of 'Medals and Muddles' the Context of the Discovery of Thallium: William Crookes's Early» (<http://www.jstor.org/stable/531576>). *Notes and Records of the Royal Society of London* **39** (1): 65–90. doi:10.1098/rsnr.1984.0005 (<https://dx.doi.org/10.1098/rsnr.1984.0005>). <http://www.jstor.org/stable/531576>.
20. Elementymology & Elements Multidict by Peter van der Krogt : Thallium (<http://elements.vanderkrogt.net/element.php?sym=Tl>)
21. Lide, David R. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 83rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, 2002; p 14:17
22. Morgan, John W. and Anders, Edward, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **77**, 6973-6977 (1980)
23. Shaw, D (1952). «The geochemistry of thallium». *Geochimica et Cosmochimica Acta* **2**: 118–154. doi:10.1016/0016-7037(52)90003-3 ([https://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(52\)90003-3](https://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(52)90003-3)).
24. Rehkamper, M (2004). «The mass balance of dissolved thallium in the oceans» (https://archive.org/details/sim_marine-chemistry_2004-03_85_3-4/page/125). *Marine Chemistry* **85**: 125–139. doi:10.1016/j.marchem.2003.09.006 (<https://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2003.09.006>). https://archive.org/details/sim_marine-chemistry_2004-03_85_3-4/page/125.
25. Alina Kabata-Pendias (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (http://books.google.gr/books?id=Nowwb0xI9fYC&printsec=frontcover&dq=Trace+Elements+in+Soils+and+Plants&hl=el&ei=2CRFTK1o24g4icS4twg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false) (3η έκδοση). CRC Press. ISBN 0849315751.
26. Environmental, Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/Tl.html>)
27. Manfred Sager (1992). Markus Stoeppeler, επιμ. *Hazardous metals in the environment. Thallium* (http://books.google.gr/books?id=x1zrlwqHlkoC&printsec=frontcover&dq=Hazardous+metals+in+the+environment&hl=el&ei=IJRdTMv_IpWisQaFpbzWBw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false). Amsterdam u.a. Elsevier. σελίδες 351–369. ISBN 0444890785.
28. T.F. Zhou· Y. Fan· F. Yuan· M.A. Wu· M.J. Hou· G. Voicu· Q.H. Hu· Q.M. Zhang (2005). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Xiangquan: The World's first reported sediment-hosted thallium-only deposit, northeastern margin of the Yangtze Block, eastern China* (<http://www.springerlink.com/content/vl1725567p1v85v0/>). Springer Berlin Heidelberg. σελίδες 515–517. ISBN 978-3-540-27945-7. Ανακτήθηκε στις 7 Αυγούστου 2010.
29. Tangfu Xiao; Jayanta Guha; Dan Boyle (2004). «High thallium content in rocks associated with Au–As–Hg–Tl and coal mineralization and its adverse environmental potential in SW Guizhou, China» (<http://geea.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/4/3/243>). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* **4** (3): 243-252. <http://geea.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/4/3/243>. Ανακτήθηκε στις 2010-08-07.
30. Rui-Zhong, Hu; Wen-Chao, Su; Xian-Wu, Bi; Guang-Zhi, Tu; Hofstra, Albert (2002). «Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China» (<http://www.springerlink.com/content/ngmqrextbq37qvph/>). *Mineralium Deposita* **37**: 378–392. <http://www.springerlink.com/content/ngmqrextbq37qvph/>.
31. S. Janković (1988). «The Allchar Tl–As–Sb Deposit, Yugoslavia and its specific metallogenic features» (<http://s://archive.today/20120909060421/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0168900288901702>). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* **271**: 286. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TJM-473DD45-FH&_user=10&_coverDate=08/15/1988&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=53b1e4e9454f35569ee78556aaf9bfce) στις 2012-09-09. <https://archive.today/20120909060421/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0168900288901702>. Ανακτήθηκε στις 2019-10-10.
32. Percival T. J., Radtke A. S. (1994). «Sedimentary-rock-hosted disseminated gold mineralization in the Alsar district, Macedonia» (http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/cm/vol32/CM32_649.pdf) (PDF). *The Canadian Mineralogist* **32**: 649-665. http://rruff.geo.arizona.edu/doclib/cm/vol32/CM32_649.pdf. Ανακτήθηκε στις 2010-08-12.

33. I. V. Pekov and A. A. Agakhanov (2008). «Thallium-rich murunskite from the Lovozero pluton, Kola Peninsula, and partitioning of alkali metals and thallium between sulfide minerals» (<http://www.springerlink.com/content/12773wgr82556362/>). *Geology of Ore Deposits* **50** (7): 583-589. <http://www.springerlink.com/content/12773wgr82556362/>. Ανακτήθηκε στις 7/8/2010.
34. V. A. Kovalenker; I. P. Laputina; T. L. Yevstigneyeva; V. M. Izoitko (1977). «Thalcosite, $\text{Cu}_{3-x}\text{Tl}_2\text{Fe}_{1+x}\text{S}_4$, a new thallium sulfide from copper-nickel ores of the Talnakh deposit» (<http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all?content=10.1080/00206817709471002>). *International Geology Review*, **19** (1): 108 – 112. <http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all?content=10.1080/00206817709471002>. Ανακτήθηκε στις 7/8/2010.
35. G. Singh (2007). *Chemistry of d-block elements* (http://books.google.gr/books?id=SsGyVDLX7cAC&pg=PA1&dq=elements+of+d-block&hl=el&ei=DxFoTI_UBaWX4gatrZWZBA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCsQ6AEwAA#v=onepage&q=). New Delhi : Discovery Publ. House. ISBN 8183562426.
36. Μανωλκίδης Κ., Μπέζας Κ. *Χημικές Αντιδράσεις*, Αθήνα 1976
37. «Lipmann Walton & CO LTD. Thallium» (<https://web.archive.org/web/20080621004228/http://lipmann.co.uk/metals/tl.html>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.lipmann.co.uk/metals/tl.html>) στις 21 Ιουνίου 2008. Ανακτήθηκε στις 7 Αυγούστου 2010.
38. C.A. DiFrancesco (retired), G.R. Smith (retired), P.N. Gabby (deceased), and D.E. Guberman. «THALLIUM STATISTICS U.S. GEOLOGICAL SURVEY» (<https://web.archive.org/web/20100714220248/http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/thallium.pdf>) (PDF). *U.S. Geological Survey*. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/thallium.pdf>) στις 2010-07-14. <https://web.archive.org/web/20100714220248/http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/thallium.pdf>. Ανακτήθηκε στις 5/8/2010.
39. WolframAlpha : Thallium (<http://www.wolframalpha.com/input/?i=thallium>)
40. Μανουσάκης Γ.Ε. (1983). *Γενική και Ανόργανη Χημεία*. τόμος 2. Εκδοτικός Οίκος Αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη. σελίδες 471–487.
41. M. Satake· S.A. Iqbal (1995). *Chemistry Of P-Block Elements* (http://books.google.com/books?id=xkitTl1IFrcC&printsec=frontcover&dq=Chemistry+Of+P-Block+Elements&hl=el&ei=mgN0TKuUKrEswbF1szzCA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCoQ6AEwAA#v=onepage&q&f=false). Discovery Publishing House. ISBN 81-7141-268-8.
42. Egon Wiberg· Nils Wiberg· A. F. Holleman (2001). *Inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=vEwj1WZKThEC&printsec=frontcover&dq=Inorganic+chemistry&hl=el&ei=vW91TMGLOcnS4wa9lrIoBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=5&ved=0CD4Q6AEwBA#v=onepage&q&f=false). San Diego, California, Berlin: Academic Press, W. de Gruyter. ISBN 0123526515.
43. Μπαζάκης Ι.Α. *Γενική Χημεία*. Αθήνα.
44. Gary Wulfsberg (2000). *Inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=hpWzxTnQH14C&printsec=frontcover&dq=Inorganic+chemistry&hl=el&ei=t3B3TN6lIZKA4AammYWFBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q=). Sausalito, Calif. ;[Great Britain] : University Science Books. ISBN 1891389017.
45. «Freshney periodic table on line. Thallium» (<https://web.archive.org/web/20110224044738/http://www.freshney.org/ptonline/data/other/81.htm>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.freshney.org/ptonline/data/other/81.htm>) στις 24 Φεβρουαρίου 2011. Ανακτήθηκε στις 11 Αυγούστου 2010.
46. Webelements. Thallium (<http://www.webelements.com/thallium/chemistry.html>)
47. Pradyot Patnaik· John A. Dean (2004). *Dean's analytical chemistry handbook* (http://books.google.gr/books?id=CQt7shHsze4C&printsec=frontcover&dq=Dean%27s+analytical+chemistry+handbook&hl=el&ei=7EVDTO3dO4uRjAeu2PEV&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=) (2η έκδοση). New York: McGraw-Hill. ISBN 0071410600.
48. Κ. Μανωλκίδης, Κ. Μπέζας (1984). *Στοιχεία Ανόργανης Χημείας* (14η έκδοση). Αθήνα, Βιβλιοεκδοτική Αναστασάκη.
49. Catherine E. Housecroft; Edwin C. Constable (2009). *Chemistry* (http://books.google.gr/books?id=jSq0m9GUm4EC&printsec=frontcover&dq=Chemistry++Catherine+Housecroft,Catherine+Housecroft,+Edwin+Constable,Edwin+Constable&hl=el&ei=yMV2TP6gCurY4wbO1MSwBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDEQ6AEwAQ#v=onepage&q=) (4η έκδοση). Harlow : Prentice Hall. ISBN 9780273733089.
50. International Atomic Energy Agency. Manual for reactor produced radioisotopes (http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1340_web.pdf)
51. Maddahi, Jamshid· Berman, Daniel (2001). «Detection, Evaluation, and Risk Stratification of Coronary Artery Disease by Thallium-201 Myocardial Perfusion Scintigraphy 155». *Cardiac SPECT imaging* (<http://books.google.com/?id=CqQgnHrDxrUC&pg=PA173>) (2η έκδοση). Lippincott Williams & Wilkins. σελίδες 155–178. ISBN 9780781720076.

52. «Toxicity, Thallium: Overview - eMedicine Emergency Medicine» (<http://emedicine.medscape.com/article/821465-overview>). Ανακτήθηκε στις 22 Αυγούστου 2010.
53. «Prussian blue fact sheet» (<https://web.archive.org/web/20131020123050/http://www.bt.cdc.gov/radiation/prussianblue.asp>). *Centers for Disease Control and Prevention*. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<https://www.bt.cdc.gov/radiation/prussianblue.asp>) στις 20 Οκτωβρίου 2013.
54. Malbrain, Manu L. N. G.; Lambrecht, Guy L. Y.; Zandijk, Erik; Demedts, Paul A.; Neels, Hugo M.; Lambert, Willy; De Leenheer, André P.; Lins, Robert L.; Daelemans, Ronny; (1997). «Treatment of Severe Thallium Intoxication». *Clinical Toxicology* **35** (1): 97–100. doi:10.3109/15563659709001173 (<https://dx.doi.org/10.3109/15563659709001173>).
55. «Chemical fact sheet — Thallium» (<https://web.archive.org/web/20080221222321/http://www.speclab.com/elements/thallium.htm>). *Spectrum Laboratories*. Απρίλιος 2001. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.speclab.com/elements/thallium.htm>) στις 21 Φεβρουαρίου 2008. Ανακτήθηκε στις 22 Αυγούστου 2010.
56. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, September 2007 (Book)* (http://books.google.gr/books?id=Za1ci8pBpP0C&pg=PR1&dq=NIOSH+Pocket+Guide+to+Chemical+Hazards,+September+2007&hl=el&ei=7k9kT0P7Aoax4Ab39eicCg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CCcQ6AEwAA#v=onepage&q=NIOSH%20Pocket%20Guide%20to%20Chemical%20Hazards%2C%20September%202007&f=false). *Health and Human Services Dept., Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Education and Information Division*. 2007. ISBN 9780160727511.
57. M. G. Arora (1997). *P-block elements* (http://books.google.gr/books?id=QR3TCaKaykEC&pg=PA1&dq=Elements+of+the+p+block&hl=el&ei=hrZ0TLO0Ksqo4AaZgu21Bg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2&ved=0CDYQ6AEwAQ#v=onepage&q=) (1η έκδοση). New Delhi : Anmol Publications. ISBN 8174885633.
58. «Crystran Data for KRS5» (<https://web.archive.org/web/20100508091606/http://www.crystran.co.uk/krs5-thallium-bromiodide-tlbrtli.htm>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.crystran.co.uk/krs5-thallium-bromiodide-tlbrtli.htm>) στις 8 Μαΐου 2010. Ανακτήθηκε στις 28 Αυγούστου 2010.
59. «Crystran Data for KRS6» (<https://web.archive.org/web/20100507110428/http://www.crystran.co.uk/krs6-thallium-bromochloride-tlbrtcli.htm>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.crystran.co.uk/krs6-thallium-bromochloride-tlbrtcli.htm>) στις 7 Μαΐου 2010. Ανακτήθηκε στις 28 Αυγούστου 2010.
60. Tsuyoshi Nakajima· Boris Žemva· Alain Tressaud (2000). *Advanced inorganic fluorides : synthesis, characterization, and applications* (http://books.google.gr/books?id=k8SfShAbnglC&printsec=frontcover&dq=Inorganic+chemistry&hl=el&ei=GLh4TK7nHMa44gaeybZABg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CE8Q6AEwBjgU#v=onepage&q=) (1η έκδοση). Amsterdam ; New York : Elsevier. ISBN 9780444720023.
61. Bohme R., Rath J., Grunwald B., Thiele G., Z. *Naturforsch.* 36B, 1366 (1980)
62. S.M. Kauzlarich (1994). *Encyclopedia of Inorganic chemistry*. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-93620-0.
63. Ulrich Müller (1993). *Inorganic structural chemistry* (http://books.google.gr/books?id=pSk_nUHLx1IC&printsec=frontcover&dq=Inorganic+chemistry&hl=el&ei=onZ3TP7tKaiK4gbh3Z3BBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CDoQ6AEwAw#v=onepage&q=). Chichester [u.a.] ; Wiley. ISBN 0471933791.
64. Percival, G. H. (1930). «The Treatment of Ringworm of The Scalp with Thallium Acetate». *British Journal of Dermatology* **42**: 59–69. doi:10.1111/j.1365-2133.1930.tb09395.x (<https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2133.1930.tb09395.x>).
65. Galvanarzate, S; Santamaría, A (1998). «Thallium toxicity». *Toxicology Letters* **99** (1): 1–13. doi:10.1016/S0378-4274(98)00126-X ([https://dx.doi.org/10.1016/S0378-4274\(98\)00126-X](https://dx.doi.org/10.1016/S0378-4274(98)00126-X)). PMID 9801025 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9801025>).
66. Rodney, William S.; Malitson, Irving H. (1956). «Refraction and Dispersion of Thallium Bromide Iodide». *Journal of the Optical Society of America* **46**: 338–346. doi:10.1364/JOSA.46.000956 (<https://dx.doi.org/10.1364/JOSA.46.000956>).
67. Kokorina, Valentina F. (1996). *Glasses for infrared optics* (<http://books.google.com/?id=jOOSKQHEJdwC&pg=PA52>). CRC Press. ISBN 9780849337857.
68. Hammond, C. R. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition* (<https://archive.org/details/crchandbookofche81lde>). CRC press. ISBN 0849304857.
69. Nayer, P. S, Hamilton, O. (1977). «Thallium selenide infrared detector» (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1977ApOpt..16.2942N>). *Appl. Opt.* **16**: 2942. doi:10.1364/AO.16.002942 (<https://dx.doi.org/10.1364/AO.16.002942>). <http://adsabs.harvard.edu/abs/1977ApOpt..16.2942N>.
70. Hofstadter, Robert (1949). «The Detection of Gamma-Rays with Thallium-Activated Sodium Iodide Crystals» (https://archive.org/details/sim_physical-review_1949-03-01_75_5/page/n92). *Physical Review* **75**: 796–810. doi:10.1103/PhysRev.75.796 (<https://dx.doi.org/10.1103/PhysRev.75.796>). https://archive.org/details/sim_physical-review_1949-03-01_75_5/page/n92.

71. Sheng, Z. Z.; Hermann A. M. (1988). «Bulk superconductivity at 120 K in the Tl–Ca/Ba–Cu–O system». *Nature* **332**: 138–139. doi:10.1038/332138a0 (<https://dx.doi.org/10.1038%2F332138a0>).
72. Jain, Diwakar· Zaret, Barry L. (2005). «Nuclear Imaging in Cardiovascular Medicine». Στο: Clive Rosendorff, επιμ. *Essential cardiology: principles and practice* (<http://books.google.com/?id=cY182J9q5NoC&pg=PA222>) (2 έκδοση). Humana Press. σελίδες 221–222. ISBN 9781588293701.
73. Lagunas-Solar, M. C.; Little, F. E.; Goodart, C. D. (1982). Abstract «An integrally shielded transportable generator system for thallium-201 production» (<http://www.medscape.com/medline/abstract/7169272>). *International Journal of Applied Radiation Isotopes* **33** (12): 1439–1443. doi:10.1016/0020-708X(82)90183-1 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0020-708X%2882%2990183-1>). <http://www.medscape.com/medline/abstract/7169272> Abstract.
74. Thallium-201 production (<http://www.med.harvard.edu/JPNM/physics/isotopes/Tl/Tl201/prod.html>) Αρχειοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20060913175254/http://www.med.harvard.edu/JPNM/physics/isotopes/Tl/Tl201/prod.html>) 2006-09-13 στο [Wayback Machine](http://www.archive.org/). from Harvard Medical School's Joint Program in Nuclear Medicine
75. Lebowitz, E.; Greene, M. W.; Fairchild, R.; Bradley-Moore, P. R.; Atkins, H. L.; Ansari, A. N.; Richards, P.; Belgrave, E. (1975). «Thallium-201 for Medical Use» (<http://jnm.snmjournals.org/cgi/content/abstract/16/2/151>). *The Journal of Nuclear Medicine* **16** (2): 151. PMID 1110421 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1110421>). <http://jnm.snmjournals.org/cgi/content/abstract/16/2/151>.
76. Taylor, Edward Curtis; McKillop, Alexander (1970). «Thallium in organic synthesis». *Accounts of Chemical Research* **3**: 956–960. doi:10.1021/ar50034a003 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Far50034a003>).
77. E. Clerici (1907). «Preparazione di liquidi per la separazione dei minerali» (στα Italian). *Atti della Reale Accademia Nazionale dei Lincei: Memorie della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturale* **16**: 187.
78. R. H. Jahns (1939). *Clerici solution for the specific gravity determination of small mineral grains* (http://www.minsocam.org/ammin/AM24/AM24_116.pdf). **24**, σελ. 116. http://www.minsocam.org/ammin/AM24/AM24_116.pdf.
79. Peter G. Read (1999). *Gemmology* (<http://books.google.com/?id=tfXa13uWiRIC&pg=PA63&lpg=PA63>). Butterworth-Heinemann. σελίδες 63–64. ISBN 0750644117.

Επιλεγμένη βιβλιογραφία

- Downs, Anthony John (1993). *Chemistry of aluminium, gallium, indium and thallium* (http://books.google.gr/books?id=v-04Kn758yIC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Glasgow: Blackie Academic & Professional. ISBN 0-7514-0103-X. Ανακτήθηκε στις 29 Ιανουαρίου 2014.
- Ebbing, Darrell D.· Gammon, Steven D. (2008). *General Chemistry* (9η έκδοση). Cengage Learning. ISBN 0-618-85748-6.
- Emsley, J. (2003). *Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements* (<https://archive.org/details/naturesbuildingb0000emsl>). Oxford University Press. ISBN 0-198-50340-7.
- Greenwood, Norman Neill· Earnshaw, Alan (1997). *Chemistry of the Elements* (2η έκδοση). Oxford: Butterworth–Heinemann. ISBN 0-7506-3365-4.
- Heather, Hasan (2010). *The Boron Elements: Boron, Aluminum, Gallium, Indium, Thallium (Understanding the Elements of the Periodic Table)* (<https://archive.org/details/boronelementsbor0000hasa>). New York: Rosen Publishing Group. ISBN 978-1-43585-333-1.
- Housecroft, Catherine E.· Sharpe, Alan G. (2005). *Inorganic chemistry* (3η έκδοση). Pearson Education Limited. ISBN 978-0-1303-9913-7.
- Μανουσάκης, Γεώργιος Ε. (1994). *Γενική και Ανόργανη Χημεία*. Θεσσαλονίκη: Αφοί Κυριακίδη. ISBN 960-343-272-5.
- Pauling, Linus (1988). *General Chemistry* (https://archive.org/details/generalchemistry00paul_0) (3η έκδοση). Dover Publications. ISBN 978-04866-5622-9.
- Schwarz-Schampera, Ulrich· Herzig, Peter M. (2002). *Indium (Geology, Mineralogy, and Economics)* (<https://archive.org/details/indiumgeologymin0000schw>). Springer. ISBN 978-3-540-43135-0.
- Schwartz, Mel (2002). *Encyclopedia and Handbook of Materials, Parts and Finishes* (2η έκδοση). CRC Press. ISBN 978-15667-6661-6.
- Sheahen, Thomas P. (1994). *Introduction to High-Temperature Superconductivity*. New York: Plenum Press. ISBN 978-661020-614-8.
- Weeks, Mary Elvira (1933). *Discovery of the elements*. Journal of Chemical Education. ISBN 0-766-13872-0.
- Egon Wiberg· Arnold Frederick Holleman· Nils Wiberg· Bernhard J. Aylett· William Brewer· Mary Eagleson (2001). *Inorganic chemistry*. San Diego, California: Academic Press. ISBN 0-123-52651-5. OCLC 833903147

(<https://www.worldcat.org/oclc/833903147>).

Δείτε επίσης

- Αβικεννίτης

Εξωτερικοί σύνδεσμοι

- Theodore Gray : Elements Display (<http://www.theodoregray.com/periodictabledisplay/Elements/081/index.s9.html>)
- Mineral Species containing Thallium (Tl) (<http://www.webmineral.com/chem/Chem-Tl.shtml>)
- Library of Inorganic Structures : Tl (<https://web.archive.org/web/20101019001717/http://3dchem.com/element.asp?selected=Tl>)
- Pictures of Thallium, its minerals and applications (<http://periodictable.com/Elements/081/pictures.pr.html>)
- Thallium (<http://www.periodicvideos.com/videos/081.htm>) at *The Periodic Table of Videos* (University of Nottingham)
- Toxicity, thallium (<http://www.emedicine.com/emerg/topic926.htm>)
- NLM hazardous substances databank – Thallium, elemental (<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/r?db+s+hsdb:@term+@na+@rel+thallium,+elemental>)
- ATSDR – ToxFAQs (<https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxFAQs/ToxFAQsDetails.aspx?faqid=308&toxid=49>)
- CDC – NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0608.html>)

Ανακτήθηκε από "<https://el.wikipedia.org/w/index.php?title=Θάλλιο&oldid=10971044>"