

Ιρίδιο

Το χημικό στοιχείο **ιρίδιο** (*iridium*) είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 77 και σχετική ατομική μάζα 192,217. Το χημικό του σύμβολο είναι «**Ir**» και ανήκει στην ομάδα 9 του περιοδικού πίνακα, στην περίοδο 6, στον τομέα d, και στην 3η κύρια σειρά των *στοιχείων μετάπτωσης*. Έχει θερμοκρασία τήξης 2.466 °C και θερμοκρασία βρασμού 4.428 °C.^[1] Πήρε το όνομά του από τα έντονα χρώματα που είχαν τα άλατά του, σε συνδυασμό και με την *Ίριδα*, τη θεά του ουράνιου τόξου των αρχαίων Ελλήνων.

Από άποψη χημικής συμπεριφοράς, ανήκει στην «ομάδα του λευκόχρυσου», **PGMs**, Platinum Group Metals.

Το ιρίδιο θεωρείται ευγενές μέταλλο μαζί με το ρουθίνιο, το ρόδιο, το παλλάδιο, τον άργυρο, το όσμιο, τον λευκόχρυσο και τον χρυσό.

Ανακαλύφθηκε το 1803 στο *Λονδίνο* από τον Άγγλο χημικό Τένναντ στα αδιάλυτα κατάλοιπα της κατεργασίας του λευκόχρυσου.

Τα μεγαλύτερα αποθέματά του βρίσκονται στη *Νότια Αφρική*, στη *Ρωσία*, και στον *Καναδά*. Μικρότερα αποθέματα βρίσκονται στις *Ηνωμένες Πολιτείες*.

Αν και είναι ένα από τα σπανιότερα στοιχεία του φλοιού της Γης, με ετήσια παραγωγή και κατανάλωση μόνο τρεις τόνους, παρουσιάζει ως μέταλλο εξαιρετικό ενδιαφέρον εξαιτίας των μηχανικών ιδιοτήτων του. Έτσι, χρησιμοποιείται ευρύτατα στην κατασκευή σκευών ανθεκτικών στις υψηλές θερμοκρασίες και στη διάβρωση, όπως είναι τα μπουζί, τα πρότυπα μέτρα και σταθμά, τα χωνευτήρια, τα ηλεκτρόδια και στις θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων σε μη επανδρωμένα διαστημόπλοια.

Οι πιο σημαντικές ενώσεις του ιριδίου είναι τα *άλατά* του με *χλώριο* και οι οργανομεταλλικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται στους *καταλύτες* των *οργανικών αντιδράσεων*.

Ιρίδιο έχει βρεθεί και σε *μετεωρίτες* και μάλιστα σε περιεκτικότητα πολύ υψηλότερη από τον μέσο όρο της λιθόσφαιρας. Υπάρχει η σκέψη ότι το ποσό του ιριδίου σ' ολόκληρο τον πλανήτη είναι πολύ υψηλότερο από αυτό που παρατηρείται στη λιθόσφαιρα, αλλά λόγω της υψηλής πυκνότητας και του σιδηρόφιλου^[Σημ. 1] χαρακτήρα του, το περισσότερο ιρίδιο κατέβηκε κάτω από τον φλοιό και μέσα στον πυρήνα της Γης, όταν ο πλανήτης ήταν ακόμη νεαρής ηλικίας και δεν είχε στερεοποιηθεί πλήρως. Ασυνηθιστα μεγάλη περιεκτικότητα σε ιρίδιο έχει βρεθεί στο γεωλογικό «όριο K-T». Αυτή η ανακάλυψη αποτελεί ισχυρή ένδειξη της θεωρίας που υποστηρίζει ότι η εξαφάνιση των *δεινοσαύρων* πριν 65 εκατομμύρια χρόνια προκλήθηκε από την πτώση μεγάλου μετεωρίτη, καθώς το ιρίδιο βρίσκεται στους μετεωρίτες σε συγκεντρώσεις μέχρι και 1.400 φορές μεγαλύτερες από τη λιθόσφαιρα.

Το ιρίδιο έχει δύο σταθερά *ισότοπα*, το ¹⁹¹Ir και το ¹⁹³Ir.

Ιστορία

Η ανακάλυψη του ιριδίου είναι συνυφασμένη με αυτήν του λευκόχρυσου και των άλλων PGMs. Κράματα μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου ήταν ήδη γνωστά από το 700 π.Χ. Ισπανοί κατακτητές της *Νότιας Αμερικής*,^[2] τον 17ο αιώνα έφεραν το αδιαχώριστο μίγμα των PGMs στην Ευρώπη με το όνομα «πλατίνα», που σημαίνει «μικρό ασήμι».

Όταν τον 19ο αιώνα Ευρωπαίοι χημικοί που μελετούσαν την πλατίνα, τη διέλυσαν σε βασιλικό νερό για να φτιάξουν ευδιάλυτα άλατα, παρατήρησαν ότι έμενε πάντα μια μικρή ποσότητα από ένα σκούρο, αδιάλυτο υπόλειμμα.^[3] Ο *Ζοζέφ Προυστ* (Joseph Louis Proust) το 1801 συμπέρανε ότι το υπόλειμμα αυτό ήταν *γραφίτης*. Το 1803, οι Γάλλοι χημικοί Βικτόρ Κολέ-Ντεκοτίλ (Victor Collet-Descotils), Αντουάν Φρανσουά (Antoine François) και Λουί Νικολά Βοκλέν (Louis Nicolas Vauquelin) παρατήρησαν επίσης το μαύρο υπόλειμμα, αλλά δεν συνέχισαν τα πειράματα.^[3]

Την ίδια χρονιά, ο Άγγλος χημικός Σμίθσον Τένναντ^[Σημ. 2] (Smithson Tennant) ανέλυσε το μαύρο αδιάλυτο υπόλειμμα και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να περιέχει ένα νέο μέταλλο. Ταυτόχρονα και ανεξάρτητα, ο Βοκλέν κατεργάστηκε τη μαύρη σκόνη με αλκάλια και οξέα^[4] και πήρε ένα νέο πηκτικό οξείδιο που νόμισε ότι αποτελούνταν από το νέο μέταλλο. Το ονόμασε μάλιστα *ptene* από την ελληνική λέξη «πηγνό» (περωτό).^[5] Ο Τένναντ όμως που διέθετε μεγαλύτερη ποσότητα υπολείμματος, συνέχισε τις έρευνες. Με μια σειρά αντιδράσεων, απομόνωσε σκούρους κόκκινους κρυστάλλους (πιθανόν του τύπου Na₂[IrCl₆]·nH₂O)^[5] από τους οποίους με θέρμανση απομόνωσε μια πολύ δύστηκτη λευκή σκόνη η οποία έπαιρνε διάφορα εντυπωσιακά χρώματα όταν διαλυόταν σε υδροχλωρικό οξύ.

Ο Τένναντ αναφέρει στη δημοσίευσή του:

"appeared of a white colour, and was not capable of being melted, by any degree of heat I could apply...I should incline to call this metal Iridium, from the striking variety of colours which it gives, while dissolving in marine acid..."

Ιρίδιο	
<div> <div>Όσμιο ← Ιρίδιο → Λευκόχρυσος</div> <div>Ρόδιο<div><div>↑</div><div>Ir</div><div>↓</div>Μαϊτνέριο</div> <div></div> <div>Περιοδικός Πίνακας</div> </div></div>	
<div><div>Κρύσταλλοι καθαρού ιριδίου</div></div>	
Ιστορία	
Ταυτότητα του στοιχείου	
Όνομα, σύμβολο	Ιρίδιο (Ir)
Ατομικός αριθμός (Z)	77
Κατηγορία	στοιχείο μετάπτωσης
ομάδα, περίοδος, τομέας	9 ,6, d
Σχετική ατομική μάζα (A _r)	192,217
Ηλεκτρονική διαμόρφωση	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ²
Αριθμός EINECS	231-095-9
Αριθμός CAS	7439-88-5
Ατομικές ιδιότητες	
Ατομική ακτίνα	136 pm
Ομοιοπολική ακτίνα	141±6 pm
Ηλεκτραρνητικότητα	2,20
Κυριότεροι αριθμοί οξείδωσης	+3, +4
Ενέργειες ιονισμού	1η: 880 KJ/mol <p>2η: 1600 KJ/mol</p>
Φυσικά χαρακτηριστικά	
Κρυσταλλικό σύστημα	κυβικό
Κρυσταλλικό πλέγμα	ολοεδρικά κεντρωμένο
Σημείο τήξης	2466 °C (4471 °F) (2739 K)
Σημείο βρασμού	4428 °C (8002 °F) (4701 K)
Πυκνότητα	22,56 g/cm ³
Ενθαλπία τήξης	41,12 KJ/mol
Ενθαλπία εξάτμισης	563 KJ/mol
Ειδική θερμοχωρητικότητα	25,10 J/mol·K
Μαγνητική συμπεριφορά	παραμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	47,1 nΩ·m
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα	21,23 MS/m
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	(27 °C) 147 W/(m K)
Σκληρότητα Mohs	6,5
Σκληρότητα Vickers	1760 MPa
Σκληρότητα Brinell	1670 MPa
Μέτρο ελαστικότητας (Young's modulus)	528 GPa
Μέτρο διάτμησης (Shear modulus)	210 GPa

"εμφανίστηκε από το άσπρο χρώμα, και δεν ήταν δυνατό να λιώσει, με οποιοδήποτε βαθμό θερμότητας θα μπορούσα να εφαρμόσω... Τείνω να αποκαλέσω το μέταλλο αυτό ιρίδιο, από την εντυπωσιακή ποικιλία χρωμάτων που δίνει, όταν διαλύεται σε θαλάσσιο (υδροχλωρικό) οξύ ..."

Έδωσε στο νέο στοιχείο το όνομα «ιρίδιο» εξαιτίας των έντονων χρωμάτων που είχαν τα άλατα του μετάλλου και από την Ιρίδα που ήταν η υπάμενη θεά του ουράνιου τόξου των Αρχαίων Ελλήνων. Ο Τένναντ ανακάλυψε ταυτόχρονα και το στοιχείο όσμιο στο ίδιο μάζρο κατάλοιπο της επεξεργασίας του λευκόχρυσου. Η ανακάλυψη των νέων στοιχείων δημοσιεύθηκε στις 21 Ιουνίου 1804.^[3] Το σύμβολο για το νέο στοιχείο που πρότεινε ο Γιονς Γιάκομπ Μπερτσέλιους (Jöns Jakob Berzelius) ήταν I που άλλαξε αργότερα σε Ir. Ο πρώτος που έλιωσε δείγμα ιριδίου ήταν ο Βρετανός χημικός, ορυκτολόγος και ζωολόγος Τζον Τζώρτζ Τσίλντρεν (John George Children) το 1813. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποίησε «τη μεγαλύτερη γαλβανική μπαταρία που είχε ποτέ κατασκευαστεί»^[3] (μέχρι τότε).

Το 1842, ο Αμερικανός χημικός Ρόμπερτ Ήιρ (Robert Hare) παρασκεύασε για πρώτη φορά ιρίδιο υψηλής καθαρότητας,^[6] υπολόγισε ότι η πυκνότητά του ήταν περίπου 21.8 g/cm³ και σημείωσε ότι επρόκειτο για μέταλλο, που ήταν σχεδόν αδύνατο να κατεργαστεί. Η πρώτη τήξη σημαντικής ποσότητας ιριδίου, έγινε από τους Γάλλους χημικούς Ανρί Σαιντ-Κλαρ Ντεβίλ (Henri Sainte-Claire Deville) και Ζυλ Ανρί Ντεμπρέ (Jules Henri Debray) το 1860. Αυτοί χρησιμοποίησαν για την τήξη πάνω από 300 L καθαρού οξυγόνου και υδρογόνου ανά κιλό ιριδίου.^[3] Ο Άγγλος εφευρέτης Τζον Αϊζακ Χώκινς (John Isaac Hawkins) κατάφερε, παρά τις δυσκολίες κατεργασίας και χειρισμού του ιριδίου, να κατασκευάσει το 1834 ένα χρυσό στυλό με μύτη από ιρίδιο. Το 1880, οι Αμερικανοί χημικοί Τζον Χόλλαντ (John Holland) και Ουίλλιαμ Λόφλαντ Ντάντλεϋ (William Lofland Dudley) κατοχύρωσαν ευρεσιτεχνία στην οποία περιέγραφαν την τεχνική τήξης ιριδίου με προσθήκη φωσφόρου. Αργότερα η Βρετανική χημική βιομηχανία Johnson Matthey υποστήριξε ότι χρησιμοποιούσε την ίδια τεχνική ήδη από το 1837.^[3] Το 1889, κατασκευάστηκαν από κράμα 90 % λευκόχρυσου και 10 % ιριδίου τα πρότυπα μήκους και μάζας που σήμερα φυλάσσονται στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών κοντά στο Παρίσι. Η πρώτη χρήση κράματος ιριδίου με ρουθίνιο σε θερμοστοιχεία,^[3] για τη μέτρηση θερμοκρασιών στον αέρα έως 2000 °C, έγινε από τον Όττο Φούσσερ (Otto Feussner) το 1933.

Το 1958 ο Γερμανός Ρούντολφ Μέσσβαουερ (Rudolf Ludwig Mössbauer)^{[7][Σημ. 3]} ανακάλυψε την ελεύθερη ανάκρουση, εκπομπή και απορρόφηση των ακτίνων γ από άτομα σε στερεό δείγμα μετallου αποτελούμενο μόνο από ¹⁹¹Ir. Το φαινόμενο αυτό, που παρατηρείται και σε άλλους πυρήνες όπως είναι ο ⁵⁷Fe, γνωστό ως «φαινόμενο Mössbauer» αξιοποιήθηκε στη «φασματοσκοπία Mössbauer» η οποία χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα στη φυσική, στη χημεία, στη βιοχημεία, στη μεταλλουργία και στην ορυκτολογία.

Εμφανίσεις - Εξόρυξη - Απομόνωση του μετάλλου

Το ιρίδιο είναι από τα σπανιότερα χημικά στοιχεία στον φλοιό της Γης. Ο χρυσός είναι 4 φορές πιο άφθονος, ο λευκόχρυσος 10 φορές και ο άργυρος και ο υδράργυρος 80 φορές.^[8] Το τελλούριο είναι περίπου όσο και το ιρίδιο, ενώ μόνο τρία φυσικά στοιχεία είναι πιο σπάνια: το ρήνιο, το ρουθίνιο και το ρόδιο. Το ιρίδιο βρίσκεται στους μετεωρίτες σε συγκεντρώσεις μέχρι και 1.400 φορές μεγαλύτερες από τη λιθόσφαιρα,^[9] όπως προαναφέρθηκε. Εκτιμάται ότι η συνολική συκέντρωση του ιριδίου στη Γη είναι πολύ υψηλότερη από αυτή που παρατηρείται στους επιφανειακούς βράχους, αλλά λόγω της πυκνότητάς και του σιδηρόφιλου χαρακτήρα του, κατέβηκε κάτω από τη λιθόσφαιρα προς τον πυρήνα της Γης, όταν ο πλανήτης ακόμη δεν είχε στερεοποιηθεί.

Εμφανίσεις

Το ιρίδιο βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο στοιχείο ή σε φυσικά κράματα, ιδιαίτερα μαζί με το στοιχείο όσμιο: το οσμυρίδιο (με περίπου 50 % ιρίδιο) και το ιριδόσμιο (με περίπου 70 % ιρίδιο).^[4] Τα PGM έχουν παρόμοια γεωχημική συμπεριφορά και έχουν την τάση να συγκεντρώνονται μαζί στη φύση. Εμφανίζονται ως κράματα ή ενώσεις στις αποθέσεις μεταλλοφόρων κοιτασμάτων, που συνδέονται μερικές φορές με τον χρυσό, το νικέλιο, τον χαλκό και το χρώμιο. Σε αποθέσεις μεταλλευμάτων νικελίου και χαλκού, τα PGM, εμφανίζονται ως σουλφίδια, τελλουρίδια, αντιμονίδια και αρσενίδια. Σε όλα αυτά τα ορυκτά του λευκόχρυσου, υπάρχουν πάντα μικρές ποσότητες ιριδίου και οσμίου.^[10]

Τα κοιτάσματα των PGM προέρχονται κυρίως από κλασματική κρυστάλλωση υγρού μάγματος. Τα κοιτάσματα αυτά συναντώνται μέσα σε πυριγενή πετρώματα και βρίσκονται μαζί με κοιτάσματα χρωμίτη και αδάμαντα.

Οι ενώσεις των PGM επειδή είναι δυσδιάλυτες στο πυριτικό τήγμα, κρυσταλλώνονται πρώτες και βυθίζονται προς βαθύτερα σημεία λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς.^[11]

Υπάρχουν όμως και ιζηματογενή κοιτάσματα PGM που έχουν προκύψει από την αποσάθρωση συνεκτικών πετρωμάτων και τη μεταφορά και απόθεση των υλικών σε άλλες θέσεις εξαιτίας της μεταφορικής δράσης ρεμάτων και ποταμών.^[10]

Οι σπουδαιότερες χώρες παραγωγής είναι η Νότια Αφρική, η Ρωσία, οι Η.Π.Α. και, κατά δεύτερο λόγο, ο Καναδάς και η Ζιμπάμπουε.^[12] Οι μεγαλύτερες γνωστές πρωτογενείς αποθέσεις PGM βρίσκονται μέσα στα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρωμίου στον κόσμο στο σύμπλεγμα Bushveld της Νότιας Αφρικής. Τα κοιτάσματα του χρωμίτη είναι στρωματόμορφα και εναλλάσσονται με βασικά και υπερβασικά πετρώματα, έχουν δε πάχος από λίγα εκατοστά έως 2 m.^[11]

Στις Η.Π.Α. εμφανίσεις PGM υπάρχουν στο Στιλγουότερ (Stillwater) της Νότιας Μοντάνα.

Στη Ρωσία εκμετάλλευση των PGM γίνεται στο Νορίλσκ κοντά στη χερσόνησο Ταΐμιρ (Taimyr) και στη χερσόνησο Μόντσεγκορσκ (Monhegorsk). Τα ορυκτά που έχουν εντοπιστεί είναι κοτουλσκιίτης, ιρίδιο, αιματίτης, χρυσός, χρωμίτης, χαλκοπυρίτης κ.ά.^[11]

Στον Καναδά έχουν εντοπιστεί PGM στο Χωκ Ριτζ (Hawk Ridge) μαζί με κοιτάσματα χρωμίτη, χαλκού και νικελίου, καθώς και στη Μανιτόμπα.^[11]

Μέτρο ελαστικότητας όγκου (Bulk modulus)	320 GPa
Λόγος Poisson	0,26
Ταχύτητα του ήχου (20 °C)	4825 m/s
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) <div>εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά</div>	



Η θεά Ίρις των Αρχαίων Ελλήνων.



Ο μετεωρίτης Willamette στο Όρεγκον των Η.Π.Α., ο έκτος μεγαλύτερος που έχει βρεθεί, περιέχει 4,7 ppm ιρίδιο.

Περιεκτικότητα Ir σε διάφορα περιβάλλοντα^[9]

Περιβάλλον	ppb κατά βάρος	ppb κατά άτομο
Σύμπαν	2	0,01
Ήλιος	2	0,01
Μετεωρίτες	550	60
Λιθόσφαιρα	0,4	0,05

Άλλα μέρη στα οποία έχουν εντοπιστεί PGM είναι στην περιοχή Σέλους (Selous) στη Ζιμπάμπουε, στην Αυστραλία, στην Πολωνία, στη Σερβία, στη Φινλανδία, στην Κολομβία, στην Ιαπωνία, στην Ελλάδα κ.α.

Σύμφωνα με έρευνα που έγινε το 1992,^[13] τα PGM που εξορύσσονταν στη Νότια Αφρική, αλλά και στην πρώην Σοβιετική Ένωση, περιείχαν κατά μέσο όρο 2 % Ir.

Το ιρίδιο στο «όριο K-T»

Το όριο K-T είναι γεωλογικό στρώμα που δημιουργήθηκε πριν 65 εκατομμύρια χρόνια και σηματοδοτεί το πέρασμα από την Κρητιδική (K) περίοδο του Μεσοζωικού Αιώνα (εποχή των ερπετών) στην Τριτογενή (T) γεωλογική περίοδο του Καινοζωικού Αιώνα (εποχή των θηλαστικών). Στο στρώμα αυτό βρέθηκαν αργιλικές αποθέσεις με ασυνήθιστα μεγάλες περιεκτικότητες σε ιρίδιο. Η ανακάλυψη αυτή οδήγησε το φυσικό Λούις Άλβαρεζ (Luis Alvarez)^[14] να προτείνει το 1980, την επικρατέστερη μέχρι σήμερα θεωρία γνωστή ως «Υπόθεση Άλβαρες», για την ξαφνική εξαφάνιση των δεινοσαύρων στο τέλος του Μεσοζωικού Αιώνα.^[15]

Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, η εξαφάνιση σχεδόν του 85 % των ειδών που κυριαρχούσαν στη Γη οφειλόταν σε έναν τεράστιο μετεωρίτη που έπεσε στη χερσόνησο Γιουκατάν στο Μεξικό δημιουργώντας τον κρατήρα Chicxulub και αναστατώνοντας σοβαρά το γήινο οικοσύστημα.^[16] Ο Alvarez διατύπωσε τη θεωρία του όταν, με τη βοήθεια του γιου του Walter που είναι γεωλόγος, διαπίστωσε ασυνήθιστα μεγάλες ποσότητες ιριδίου, μέσα στους βράχους που χαρακτήριζαν το όριο μεταξύ της Κρητιδικής και της Τριτογενούς περιόδου. Το ιρίδιο είναι εξαιρετικά σπάνιο στον γήινο φλοιό, αλλά είναι πιο συνηθισμένο στους αστεροειδείς. Έτσι ο Alvarez υποστήριξε ότι αυτή η αυξημένη περιεκτικότητα σε ιρίδιο, ήταν απόδειξη για μια εξωγήινη σύγκρουση. Πρόσφατες έρευνες έχουν δείξει ότι τηγμένα υλικά από τον γήινο μανδύα, που έρχονται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων, περιέχουν επίσης αυξημένες ποσότητες ιριδίου. Έτσι υποστηρίζεται η άποψη ότι η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα του τέλους της Κρητιδικής εποχής (και όχι η πτώση μετεωρίτη) μπορεί να είναι υπεύθυνη για το αυξημένο ιρίδιο στο όριο K-T. Άλλα γεωλογικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι η αυξημένη περιεκτικότητα σε ιρίδιο του ορίου K-T δημιουργήθηκε σιγά-σιγά, όπως θα ήταν αναμενόμενο εξαιτίας μιας βαθμιαίας αυξανόμενης ηφαιστειακής δραστηριότητας και όχι ως αιτία ξαφνικής πτώσης αστεροειδούς.^[17]



Εμφανίσεις «ορίου K-T» στο Ουαϊόμινγκ των Η.Π.Α. Το ενδιάμεσο (ανοιχτόχρωμο) αργιλικό στρώμα περιέχει 1.000 φορές περισσότερο ιρίδιο από τα υπερκείμενα και υποκείμενα γεωλογικά στρώματα.

Εξόρυξη - Προκατεργασία

Η εξόρυξη των μετάλλων της ομάδας του λευκόχρυσου αποτελεί σημαντική πλουτοπαραγωγική πηγή για τις χώρες στις οποίες αυτά παράγονται. Συνήθως, απαιτούνται έως 3 μήνες για να ληφθούν 7 έως 12 τόνοι μεταλλεύματος^[6] από τους οποίους θα εξαχθεί 1 ουγγιά (=31,135 g) λευκόχρυσου και μικρότερη ποσότητα ιριδίου.

Τα PGMs εξορύσσονται συνήθως από υπόγεια ορυχεία και σπάνια από επιφανειακές εμφανίσεις. Ο αρχικός τεμαχισμός των βράχων γίνεται από τους εργάτες των ορυχείων με κομπρεσέρ ή με εκρηκτικά. Μετά τη μεταφορά στην επιφάνεια με ιμάντες ή βαγονάκια των μεγάλων κομματιών από το υπόγειο ορυχείο, αυτά τεμαχίζονται σε πολύ μικρά κομμάτια, απομακρύνονται οι προσμίξεις, για να αποκαλυφθούν τα ορυκτά που περιέχουν τα επιθυμητά μέταλλα και τέλος αλέθονται μέχρι να γίνουν σκόνη. Σ' αυτή τη φάση, ένας τόνος μεταλλεύματος συνήθως περιέχει 4 έως 7 γραμμάρια μετάλλων.^[18] Στη συνέχεια, με μια διαδικασία που ονομάζεται «επιπλύση αφρού», το μέταλλευμα αναμιγνύεται με νερό και χημικές ουσίες οπότε εμπλουτίζεται σε PGMs, προσκολλάται στις φυσαλίδες που δημιουργούνται από τη διαδικασία, επιπλέει στην επιφάνεια και απομακρύνεται. Το εμπλουτισμένο μέταλλευμα περιέχει τώρα από 100 έως 1000 γραμμάρια μετάλλων ανά τόνο. Το υπόλοιπο υλικό περνάει από τη διαδικασία άλεσης και επιπλύσης για δεύτερη φορά. Τα τελικά κατάλοιπα-απόβλητα είτε επιστρέφονται στο ορυχείο για να κλείσουν τα ανοικτά σημεία εξόρυξης, είτε απορρίπτονται σε απομακρυσμένα σημεία στην επιφάνεια του εδάφους, είτε υποβάλλονται σε πρόσθετη επεξεργασία για την ανάκτηση των άλλων μετάλλων που υπάρχουν, όπως νικέλιο ή χαλκός. Εν τω μεταξύ, το μέταλλευμα το οποίο μετά τον νέο εμπλουτισμό περιέχει 1400 γραμμάρια μετάλλων ανά τόνο, μεταφέρεται στο κοντινό εργοστάσιο για περαιτέρω επεξεργασία. Εκεί ξηραίνεται σε θερμοκρασίες που μπορεί να είναι πάνω από 1500 °C και διαχωρίζεται από ανεπιθύμητα ορυκτά όπως του σιδήρου και του θείου, τα οποία απομακρύνονται με διοχύτευση ρευμάτων αέρα. Η τελική περιεκτικότητα σε πολύτιμα μέταλλα αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό της αρχικής μάζας του μεταλλεύματος. Για παράδειγμα, στο ορυχείο Stillwater των Η.Π.Α. από 850.000 τόνους πρωτογενούς μεταλλεύματος, θα παραχθούν τελικά σε ετήσια βάση μόνο 15,5 τόνοι εξευγενισμένων PGMs^[19]

Στο χυτήριο, το οποίο μπορεί να έχει μια ικανότητα επεξεργασίας έως και 100 τόνους/ημέρα, το μέταλλευμα κατεργάζεται σε ηλεκτρική κάμινο σε θερμοκρασίες κοντά στους 1600 °C για να απομακρυνθούν διάφορα άχρηστα υλικά και τελικά, μετά από διπλή επεξεργασία, προκύπτει μια «σκουριά» (matte) από PGMs και άλλα μέταλλα. Το matte υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία κατά την οποία τα βασικά μέταλλα, όπως ο χαλκός, το νικέλιο και το κοβάλτιο, απομακρύνονται οπότε απομένει ένα μίγμα λεπτόκοκκων PGMs.

Διαχωρισμός - Απομόνωση του ιριδίου

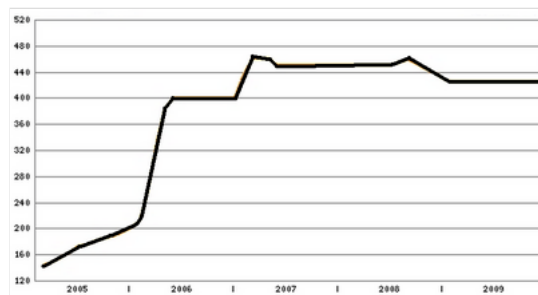
Το τελικό βήμα στην παραγωγή είναι ο διαχωρισμός και ο καθαρισμός των PGMs σε ξεχωριστά μέταλλα.^[18] Αυτό είναι και το πιο δύσκολο κομμάτι της όλης διαδικασίας και συνδυάζει χημικές μεθόδους, αποστάξεις και τεχνικές ανταλλαγής ιόντων. Η βασική διαδικασία σε γενικές γραμμές είναι η εξής: Στα μεταλλεύματα των PGM μπορεί να συνυπάρχουν και χρυσός (Au) ή/και άργυρος (Ag) που πρέπει επίσης να απομακρυνθούν. Το μίγμα ή και το κράμα των μετάλλων, κατεργάζεται^[20] με βασικό νερό στο οποίο διαλύονται ο λευκόχρυσος (Pt), το παλλάδιο (Pd) και ο Au. Τα άλλα μέταλλα δηλαδή ρουθένιο (Ru), όσμιο (Os), ρόδιο (Rh), ιρίδιο (Ir) και Ag μένουν ως αδιάλυτα χλωριούχα σύμπλοκα. Στη συνέχεια αυτά τα αδιάλυτα διαλύονται σε τήγμα μολύβδου (Pb) και νιτρικό οξύ (HNO₃) οπότε απομακρύνεται ο Ag και ο Pb με μορφή νιτρικού αργύρου (AgNO₃) και μολύβδου (PbNO₃). Τα αδιάλυτα που απομένουν είναι τα μέταλλα Ru, Os, Rh, Ir. Ακολουθεί σύντηξη με όξινο θειικό νάτριο (NaHSO₄) και διάλυση στο νερό, οπότε απομονώνεται το διαλυτό θειικό ρόδιο(III), Rh₂(SO)₃, ενώ τα άλλα μέταλλα (Ru, Os, Ir) μένουν αδιάλυτα, συντηκονται με υπεροξειδίο νατρίου (Na₂O₂) και πλένονται με νερό για να απομακρυνθούν τα μέταλλα Ru και Os ως ιόντα RuO₄²⁻ και OsO₄²⁻ αντίστοιχα. Το υπόλειμμα περιέχει οξειδίο του ιριδίου, IrO₂, το οποίο διαλύεται σε βασικό νερό δίνοντας διάλυμα που περιέχει καθαρό χλωροϊριδικό αμμώνιο, (NH₄)₃IrCl₆. Εξάτμιση μέχρι ξηρού και καύση κάτω από αέριο υδρογόνο δίνει καθαρό ιρίδιο.^[9]

Οικονομικά στοιχεία

Η τιμή της εταιρείας Johnson Matthey (Johnson Matthey Base Price) του ιριδίου στη Νέα Υόρκη στις 3/8/2023 ήταν 4600 δολάρια/ουγκιά.^[21]

Η ετήσια παραγωγή ιριδίου το 2000 ήταν περίπου 3 τόνοι^[4] ή περίπου 100.000 ουγκιές (ozt).^[Σημ. 4] Η τιμή του ιριδίου (όπως και των άλλων εξωτικών PGMs : Ru, Os, Rh) κυμαίνεται σημαντικά και αυτές οι μεταβολές στην τιμή οφείλονται στο ότι το Ir είναι παραπροϊόν της εξόρυξης του λευκόχρυσου και του νικελίου και κάθε μέρα πωλούνται και αγοράζονται πολύ μικρές ποσότητες που δεν ανταποκρίνονται στις μεταβολές της ζήτησης. Αν η διαθέσιμη ποσότητα ενός συγκεκριμένου μετάλλου είναι μικρή, η τιμή του θα αυξηθεί δραματικά και θα πέσει εξίσου απότομα όταν χαλαρώσει η ζήτηση.^[22]

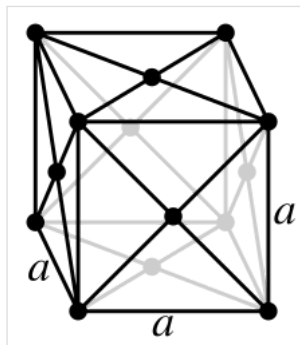
Η βιομηχανική παραγωγή και απομόνωσή του είναι δύσκολη και σύνθετη γιατί συνυπάρχει με άλλα μέταλλα όπως το ρόδιο, το παλλάδιο, ο άργυρος, ο λευκόχρυσος και ο χρυσός. Παρά τις δυσκολίες αυτές όμως, το ιρίδιο εξακολουθεί να εξαγεται διότι είναι αναπτικατάστατο σε ορισμένους βιομηχανικούς καταλύτες και σε μερικές πολύ εξειδικευμένες εφαρμογές.



Διακύμανση τιμών ιριδίου σε δολάρια/ουγκιά (2005-2009)^[21]

Ιδιότητες

Φυσικές



Κρύσταλλος Ir, $a = 383,9 \text{ pm}$

Το ιρίδιο είναι μέταλλο αργυρόλευκο και το μοναδικό που διατηρεί τις καλές μηχανικές ιδιότητές του στον αέρα ακόμη και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 1600 °C. Το Ir έχει πολύ μεγάλη θερμοκρασία βρασμού (12ο στη σειρά του σημείου βρασμού των χημικών στοιχείων). Εξαιτίας της σκληρότητας, του πολύ ψηλού σημείου τήξης του (το 8ο υψηλότερο όλων των χημικών στοιχείων) και της μεγάλης πυκνότητας, το στερεό ιρίδιο είναι πολύ δύσκολο να κατεργαστεί.^[8] Παρόλες, όμως, τις δυσκολίες κατεργασίας και το ψηλό κόστος, το ιρίδιο χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές τεχνολογιών αιχμής στις οποίες αξιοποιούνται οι μεταλλουργικές του ιδιότητες.

Το ιρίδιο είναι παραμαγνητικό μέταλλο διότι έχει μονήρη ηλεκτρόνια τα οποία συμπεριφέρονται ως στοιχειώδεις μαγνήτες και έλκονται από μαγνητικά πεδία, αγωγίμο και κρυσταλλώνεται στο ολοεδρικό κεντρωμένο κυβικό σύστημα. Η τάση των ατμών του είναι αμελητέα και μετρήσιμη μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες: στους 2440 °C είναι μόνο 10^{-5} Atm και φθάνει στην 1 Atm στους 4659 °C.

Μηχανικές ιδιότητες^[Σημ. 5]

Το ιρίδιο είναι το πιο σκληρό μέταλλο (1ο στην κατάταξη του μέτρου Young). Σε δοκιμές ολκιμότητας, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας^[Σημ. 6] του ιριδίου, που ήταν πολύ μεγαλύτερη από των Pt, Pd, Rh, μειώθηκε εντυπωσιακά μεταξύ 200 °C και 600 °C καθιστώντας το ιρίδιο ακόμη πιο δύσκολο στην κατεργασία. Το μέτρο ελαστικότητας του ιριδίου ελαττώνεται ανεπαίσθητα από τους 0 °C στους 1000 °C και είναι το υψηλότερο όλων των μετάλλων μαζί με αυτό του οσμίου. Η πολύ μεγάλη του ακαμψία (5ο στη σειρά σκληρότητας μεταξύ όλων των χημικών στοιχείων) και ο πολύ μικρός λόγος Poisson,^[Σημ. 7] καθιστούν το ιρίδιο πολύ ανθεκτικό στη μορφοποίηση με αποτέλεσμα μεγάλες τεχνικές δυσκολίες στις διάφορες βιομηχανίες που κατεργάζονται υλικά.

Θερμικές ιδιότητες

Το ιρίδιο έχει την 9η μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα μεταξύ όλων των χημικών στοιχείων. Η θερμική του αγωγιμότητα παραμένει σχεδόν σταθερή μεταξύ 0 °C και 100 °C, περίπου 145 W/(m.K) σχεδόν ίδια με αυτήν του ροδίου και υψηλότερη από τις θερμικές αγωγιμότητες των άλλων PGM, που είναι κάτω από τα 100 W/(m.K). Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής^[Σημ. 8] του Ir μεταβάλλεται και είναι $3,43 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ στους -198 °C ενώ ανεβαίνει λίγο πάνω από $6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ σε θερμοκρασίες πάνω από 0 °C παραμένοντας πάντως πολύ χαμηλός.^[23] Δεν υπάρχουν όμως αξιόπιστα στοιχεία για τη θερμική διαστολή του ιριδίου πάνω από τους 1077 °C.^[24]

Οπτικές ιδιότητες

Ανακλά το ορατό φως από 70 % έως 76 % ενώ η ανακλαστικότητα του γίνεται 78 % για ακτινοβολία μήκους κύματος 1000 nm.^[9] Είναι μέταλλο λιγότερο λαμπερό από το ρόδιο, τον χρυσό και τον άργυρο αλλά περισσότερο από τον λευκόχρυσο και το παλλάδιο.

Ηλεκτρικές ιδιότητες

Όπως όλα τα μέταλλα, το ιρίδιο είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος και έχει τη 10η μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα στη διέλευση του ρεύματος, μεταξύ όλων των χημικών στοιχείων στους 25°C. Σε όλες τις θερμοκρασίες έχει σχεδόν την ίδια αγωγιμότητα με του ροδίου που είναι και οι μεγαλύτερες μεταξύ των PGM. Το ιρίδιο γίνεται υπεραγωγός στους -273,04 °C (0,11 K),^[9] λίγο πιο πάνω από το απόλυτο μηδέν (-273,15 °C).

Πυκνότητα

Υπάρχουν κάποιες αμφιβολίες σχετικά με το πιο από τα δύο μέταλλα έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα : το ιρίδιο ή το όσμιο, αφού η διαφορά που έχει μετρηθεί είναι πολύ μικρή.^{[25][26]} Σήμερα γνωρίζουμε^[5] ότι το όσμιο έχει πυκνότητα $22,587 \pm 0,009 \text{ g/cm}^3$ και το ιρίδιο $22,562 \pm 0,009 \text{ g/cm}^3$. Σε υγρή κατάσταση το ιρίδιο έχει πυκνότητα 19 g/cm^3 .

Η εξαιρετική πυκνότητα του ιριδίου οφείλεται στο φαινόμενο της *συστολής των λανθανιδών*^[20]. Επειδή τα f ηλεκτρόνια δεν προστατεύουν επαρκώς τα ηλεκτρόνια των εξωτερικών στιβάδων, η αύξηση του πυρηνικού φορτίου στα 15 χημικά στοιχεία των λανθανιδών έχει ως συνέπεια την ισχυρότερη έλξη του ηλεκτρονικού περιβλήματος με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η ακτίνα των ατόμων όταν αυξάνεται ο ατομικός αριθμός. Έτσι τα χημικά στοιχεία γίνονται πιο «πυκνά». Το φαινόμενο αυτό επεκτείνεται και στα άλλα στοιχεία προς τα δεξιά της 6ης περιόδου του περιοδικού πίνακα στην οποία ανήκουν οι λανθανίδες. Έτσι, η περίοδος αυτή διαθέτει στοιχεία με πολύ μεγάλη πυκνότητα όπως το βολφράμιο ($19,25 \text{ g/cm}^3$), το ρήνιο ($21,02 \text{ g/cm}^3$), το όσμιο ($22,59 \text{ g/cm}^3$), ο λευκόχρυσος ($21,45 \text{ g/cm}^3$), ο χρυσός ($19,25 \text{ g/cm}^3$) και φυσικά το ιρίδιο.

Χημικές

Το ιρίδιο ανήκει στη γ' σειρά των μεταβατικών μετάλλων (ή στοιχείων) ή στοιχείων μετάπτωσης. Στα μέταλλα μετάπτωσης ανήκουν τα χημικά στοιχεία που έχουν ασυμπλήρωτη την ομάδα των d ατομικών τροχιακών της προτελευταίας ηλεκτρονιακής στιβάδας. Το φάσμα εκπομπής του Ir είναι περίπλοκο επειδή διαθέτει πολλά τροχιακά παραπλήσιας ενέργειας και τα ηλεκτρόνια έχουν πολλές επιλογές όταν μεταβαίνουν από το ένα τροχιακό στο άλλο. Οι μεταβάσεις αυτές προϋποθέτουν απορρόφηση ενέργειας και στη συνέχεια επανεκπομπή της. Έτσι παρουσιάζεται το διάχυτο φάσμα εκπομπής και γι' αυτό το ιρίδιο ανήκει στο d-block (το d στα αγγλικά αντιπροσωπεύει τη λέξη diffuse που σημαίνει διάχυτος).^[27] Οι ενέργειες ιονισμού (σε KJ/mol) των σταδιακών μετατροπών του ιριδίου σε ιόντα από Ir⁺ έως Ir⁹⁺ καθώς και τα δυναμικά ημιαντιδράσεων αναγωγής διαφόρων ενώσεων και ιόντων του Ir, βρίσκονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Ενέργειες ιονισμού		Δυναμικά αναγωγής	
Μετατροπή	Ενέργεια ιονισμού (KJ/mol)	Ημιαντίδραση	Δυναμικό E ⁰ (V)
Ir - Ir ⁺	880	Ir ³⁺ + 3e ⁻ ⇌ Ir	+1.15
Ir ⁺ - Ir ²⁺	1600	IrCl ₆ ²⁻ + e ⁻ ⇌ IrCl ₆ ³⁻	+1.026
Ir ²⁺ - Ir ³⁺	2600	IrCl ₆ ²⁻ + 4e ⁻ ⇌ Ir + 6Cl ⁻	+0.835
Ir ³⁺ - Ir ⁴⁺	3800	IrCl ₆ ³⁻ + 3e ⁻ ⇌ Ir + 6Cl ⁻	+0.77
Ir ⁴⁺ - Ir ⁵⁺	5500	IrO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ⇌ Ir + H ₂ O	+0.93
Ir ⁵⁺ - Ir ⁶⁺	6900	IrO ₂ + 2H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ Ir + 4OH ⁻	+0.1
Ir ⁶⁺ - Ir ⁷⁺	8500	Ir ₂ O ₃ + 3H ₂ O + 6e ⁻ ⇌ 2Ir + 6OH ⁻	+0.1
Ir ⁷⁺ - Ir ⁸⁺	10000		
Ir ⁸⁺ - Ir ⁹⁺	11700		

Ατομικός αριθμός (Z)	Χημικό στοιχείο	Ηλεκτρόνια ανά στιβάδα
27	Κοβάλτιο	2, 8, 15, 2
45	Ρόδιο	2, 8, 18, 16, 1
77	Ιρίδιο	2, 8, 18, 32, 15, 2
109	Μαϊτνέριο	2, 8, 18, 32, 32, 15, 2

Όπως φαίνεται σ' αυτούς τους πίνακες, το κανονικό δυναμικό αναγωγής της αντίδρασης: Ir³⁺ + 3e⁻ ⇌ Ir είναι θετικό (+ 1,15 V) πράγμα που σημαίνει ότι το μέταλλο βρίσκεται μετά το υδρογόνο στην ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων, δεν αντικαθιστά το H στις ενώσεις του (π.χ οξέα) και χημικάς θεωρείται ευγενές μέταλλο. Το ιρίδιο είναι το ανθεκτικότερο από όλα τα μέταλλα στη διάβρωση. Δε διαβρώνεται από το νερό, τα οξέα, το βασιλικό νερό, τις βάσεις, τα λιωμένα μέταλλα, τα αλογόνα, τις ενώσεις του πυριτίου.^[20]

Επίδραση οξέων

Το ιρίδιο δε διαβρώνεται από τα οξέα (αραιά ή πυκνά, ασθενή ή ισχυρά, οργανικά ή ανόργανα) ούτε από το βασιλικό νερό.^[20]

Επίδραση βάσεων

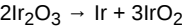
Το ιρίδιο γενικά δε διαβρώνεται από τις βάσεις σε φυσιολογικές συνθήκες.^[20] Όταν επιδράσει λιωμένο NaOH σε πολύ δραστικές συνθήκες (1 ώρα, 410 °C, ξηρό περιβάλλον, ατμόσφαιρα με 100 % O₂), τότε από επιφάνεια 8 cm² ιριδίου χάνεται περίπου 1 g υλικού, ενώ όταν επιδράσει λιωμένο KOH στις ίδιες συνθήκες, υπάρχει απώλεια περίπου 66 g.^[28]

Επίδραση αλάτων

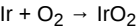
Πάρα πολύ μικρή διάβρωση παρατηρείται κατά την επίδραση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl). Από την επίδραση λιωμένου κυανιούχου καλίου (KCN) στο ιρίδιο στους 700 °C παρατηρείται επιφανειακή απώλεια 18 mg Ir/cm² την ημέρα, ενώ από την επίδραση ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) στους 920 °C παρατηρείται επικάλυψη από οξειδίο μάζας 1,32 mg/cm² την ημέρα. Άλλα λιωμένα άλατα έχουν αμελητέα επίδραση σε κομμάτια ιριδίου.^[28]

Αντιδράσεις του ιριδίου με το O₂

Το ιρίδιο σχηματίζει οξειδία με αριθμό οξείδωσης +3 και +4 δηλ. το καφέ Ir₂O₃ και το μαύρο IrO₂.^[9] Για το πρώτο λίγα πράγματα είναι γνωστά και δεν παρασκευάζεται με απευθείας αντίδραση του Ir με O₂. Αν σχηματιστεί, οξειδώνεται στους 500 °C προς IrO₂.^[26]

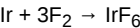


Το IrO₂ προκύπτει με απευθείας αντίδραση Ir και O₂. Στους 1100 °C διασπάται στα στοιχεία του:

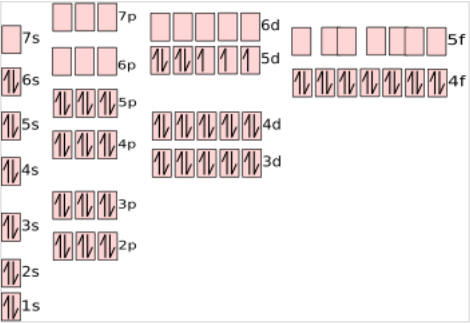
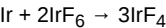


Αντιδράσεις του ιριδίου με τα αλογόνα

Το μεταλλικό ιρίδιο αντιδρά απευθείας με το αέριο φθόριο και δίνει διάφορα προϊόντα ανάλογα, με τη θερμοκρασία^[26]: Στους 240 °C προκύπτει το εξαιρετικά διαβρωτικό κίτρινο στερεό φθοριούχο ιρίδιο(VI), IrF₆ :

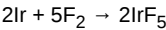


Το IrF₆ μπορεί να αντιδράσει με το Ir σε πίεση 1 έως 15 Torr και να δώσει το καστανοκόκκινο φθοριούχο ιρίδιο(IV) :

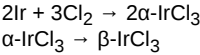


Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση Ir

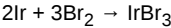
το οποίο θερμαινόμενο στους 400 °C μετατρέπεται στο μαύρο φθοριούχο ιρίδιο(III), IrF₃. Στους 350-380 °C παράγεται το κιτρινοπράσινο φθοριούχο ιρίδιο(V), IrF₅ :



Η αντίδραση του Ir απευθείας με Cl₂ γίνεται στους 600 °C και οδηγεί στον σχηματισμό της καφέ α-μορφής του χλωριούχου ιριδίου(III) το οποίο σε κενό και στους 750 °C μετατρέπεται στη βαθυκόκκινη β-μορφή^[26]:



Η αντίδραση του Ir απευθείας με Br₂ γίνεται σε σφραγισμένους σωλήνες, στους 540 °C, σε πίεση 8-9 Atm και οδηγεί στον σχηματισμό του κίτρινου βρωμιούχου ιριδίου(III):^[26]



Ισότοπα

Το ιρίδιο έχει δύο σταθερά φυσικά ισότοπα, το ¹⁹¹Ir και το ¹⁹³Ir με περιεκτικότητες αντίστοιχα 37,3 % και 62,7 %. Τουλάχιστον 34 άλλα ραδιοϊσότοπα με σχετικές ατομικές μάζες από 164 έως 199 είναι τεχνητά.^[29] Το ισότοπο ¹⁹²Ir, χρησιμοποιείται στην καταπολέμηση του καρκίνου και για τον ακτινογραφικό έλεγχο των συγκολλήσεων σε χαλύβδινους σωλήνες στην πετροχημική βιομηχανία και στη διανομή του φυσικού αερίου. Το ισότοπο ¹⁹¹Ir ήταν το πρώτο στο οποίο εντοπίστηκε το φαινόμενο Mössbauer. Όλα τα γνωστά ισότοπα του ιριδίου ανακαλύφθηκαν μεταξύ του 1934 και του 2001. Το νεώτερο που ανακαλύφθηκε είναι το ¹⁷¹Ir.^[30]

Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι - Βιολογικός ρόλος - Προφυλάξεις

Το ιρίδιο στη μεταλλική του μορφή δεν παρουσιάζει βιολογικό ενδιαφέρον ούτε είναι επικίνδυνο διότι δεν αντιδρά με τους ιστούς.^[31] Υπάρχουν μόνο περίπου 20 μέρη στο τρισεκατομμύριο (ppt) ιριδίου στους ανθρώπινους ιστούς.^[4] Ωστόσο, η σκόνη ιριδίου μπορεί να είναι επικίνδυνη, ερεθιστική αλλά και εύκολα αναφλέξιμη κατά τον χειρισμό της.^[32] Πολύ λίγα είναι γνωστά για την τοξικότητα των ενώσεων του ιριδίου, διότι χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές ποσότητες, αλλά τα ευδιάλυτα άλατά του, όπως τα αλογονίδια, ενδέχεται να είναι επικίνδυνα^[33] εξαιτίας των άλλων στοιχείων που περιέχουν αλλά και του ίδιου του ιριδίου. Ωστόσο, οι περισσότερες ενώσεις του ιριδίου είναι αδιάλυτες, γεγονός που καθιστά δύσκολη την απορρόφησή τους από τον οργανισμό.^[4] Πειράματα σε αρουραίους έδειξαν ότι εισπνεόμενη σκόνη μεταλλικού ιριδίου αποβάλλεται γρήγορα κατά 95 % με το γαστρεντερολογικό σύστημα.^[34] Οι μόνιμοι τραυματισμοί που έχουν αναφερθεί οφείλονται σε τυχαία υπερβολική έκθεση σε ακτινοβολία γ από το ραδιοϊσότοπο ¹⁹²Ir που χρησιμοποιείται στην ιατρική. Εξωτερική έκθεση στο ισότοπο αυτό μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα, δηλητηρίαση από ακτινοβολία έως και θάνατο. Η κατάποση του Ir-192 μπορεί να καταστρέψει το στομάχι, τα έντερα αλλά και το συκώτι.^[34] Τα ισότοπα ^{192m}Ir και ^{194m}Ir τείνουν να εναποθέτονται στο συκώτι και μπορούν να δημιουργήσουν κινδύνους από τη γ και β ακτινοβολία. Επειδή το ιρίδιο είναι πολύ σπάνιο μέταλλο, δεν έχει καταγραφεί καμιά τοξικότητά του στα τρόφιμα.^[35]

Ωστόσο, περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να παρουσιαστούν στις χώρες παραγωγής. Η εξόρυξη και επεξεργασία των PGMs απαιτεί πάρα πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας και νερού. Τα ποσά αυτά αυξάνονται κάθε χρόνο με τις ανάλογες επιπτώσεις. Δεν υπάρχει σχετική νομοθεσία προστασίας του περιβάλλοντος, αλλά γίνεται μια προσπάθεια από τις εταιρείες που εκμεταλλεύονται τα PGMs (International Platinum Group Metals Association - IPA) να νομοθετηθούν τα όρια.

Ενώσεις του ιριδίου

Το ιρίδιο εμφανίζεται στις ενώσεις του με αριθμούς οξείδωσης από -1 έως και +6 εκτός από -2. Συνηθέστεροι είναι ο +3 και ο +4. Οι ενώσεις στις οποίες το ιρίδιο έχει μεγάλο αριθμό οξείδωσης είναι σπάνιες με τις πλέον αντιπροσωπευτικές το φθοριούχο ιρίδιο(VI), IrF₆^[8] και δύο μικτά οξείδια με στρόντιο-μαγνήσιο, Sr₂MgIrO₆ και στρόντιο-ασβέστιο, Sr₂CaIrO₆.

Είναι γνωστά τα σουλφίδια IrS₂, Ir₂S₃, Ir₃S₈, IrS₃, τα σεληνίδια IrSe₂, Ir₃Se₈, το αρσενίδιο IrAs₃, το αντιμονίδιο IrSb₃, τα φωσφίδια Ir₂P και IrP₂ αλλά και το IrSi₃.

Οι περισσότερες ενώσεις του ιριδίου (αλλά και γενικά των στοιχείων μετάπτωσης) είναι έγχρωμες γιατί ο αριθμός των διαθέσιμων τροχιακών στα οποία μπορεί να μεταπηδήσει ένα ηλεκτρόνιο όταν διεγερθεί είναι μεγάλος, οπότε η ενέργεια που χρειάζεται για να αλλάξει τροχιακό είναι πολύ μικρή και η ενέργεια της ορατής περιοχής του φάσματος είναι επαρκής. Έτσι, απορροφούνται ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και οι ενώσεις φαίνονται έγχρωμες.^[27]

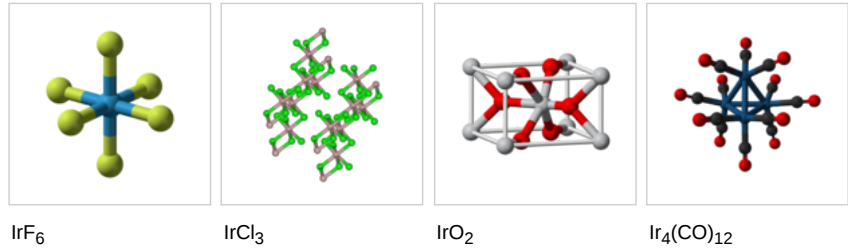
Οι γνωστότερες δυαδικές ενώσεις του Ir⁺³ και του Ir⁺⁴ με αμέταλλα στοιχεία καθώς και τρισδιάστατες απεικονίσεις ορισμένων σημαντικών ενώσεων του ιριδίου, βρίσκονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Χρώματα ορισμένων αλάτων του ιριδίου^[26]

Ένωση	Χρώμα
IrF ₅	
Cs ₃ IrI ₆	
KIrF ₆	
Na ₂ IrBr ₆	
Na ₃ IrBr ₆ ·H ₂ O	
IrI ₃	
K ₃ IrCl ₆ ·H ₂ O	

Ενώσεις του Ir ⁺³		Ενώσεις του Ir ⁺⁴	
Όνομα ένωσης	Χημικός τύπος	Όνομα ένωσης	Χημικός τύπος
Οξείδιο του ιριδίου(III)	Ir ₂ O ₃	Οξείδιο του ιριδίου(IV)	IrO ₂
Χλωριούχο ιρίδιο(III)	IrCl ₃	Χλωριούχο ιρίδιο(IV)	IrCl ₄
Ιωδιούχο ιρίδιο(III)	IrI ₃	Ιωδιούχο ιρίδιο(IV)	IrI ₄
Βρωμιούχο ιρίδιο(III)	IrBr ₃	Βρωμιούχο ιρίδιο(IV)	IrBr ₄
Φθοριούχο ιρίδιο(III)	IrF ₃	Φθοριούχο ιρίδιο(IV)	IrF ₄
Θειούχο ιρίδιο(III)	Ir ₂ S ₃	Θειούχο ιρίδιο(IV)	IrS ₂
		Σεληνιούχο ιρίδιο(IV)	IrSe ₂
		Τελουριούχο ιρίδιο(IV)	IrTe ₂

Στερεοχημικά μοντέλα ενώσεων του ιριδίου

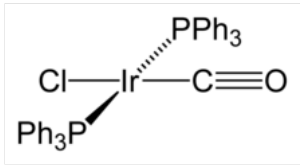


Το ιρίδιο σχηματίζει επίσης ιριδικά άλατα, όπως το K₂IrO₃ και το KIrO₃. Αν και δεν είναι γνωστές δυαδικές ενώσεις του ιριδίου με υδρογόνο (υδρίδια), της μορφής Ir_xH_y, εντούτοις είναι γνωστά σύμπλοκα που περιέχουν IrH₄⁻⁵ και IrH₃⁻⁶, όπου το ιρίδιο έχει αριθμούς οξείδωσης +1 και +3, αντίστοιχα.^[20] Το μικτό υδρίδιο Mg₆Ir₂H₁₁ πιστεύεται ότι περιέχει τόσο το ανιόν IrH₄⁻⁵ όσο και το ανιόν IrH₅⁻⁴. Το ιρίδιο σχηματίζει με όλα τα αλογόνα, αλογονούχες ενώσεις της μορφής IrX₃ (X=F, Cl, Br, I), ενώ είναι άγνωστα μονο- ή δια-αλογονίδια.^[26] Για αριθμούς οξείδωσης +4, +5 και +6 είναι γνωστές ενώσεις του ιριδίου μόνο με το φθόριο. Το φθοριούχο ιρίδιο(VI), IrF₆, είναι πτητικό, δραστικό κίτρινο στερεό αποτελούμενο από μόρια οκταεδρικής δομής. Αποσυντίθεται στο νερό και ανάγεται προς κρυσταλλικό στερεό φθοριούχο ιρίδιο(IV), IrF₄.^[26] Το φθοριούχο ιρίδιο(V), IrF₅, έχει παρόμοιες ιδιότητες, πρόκειται όμως στην πραγματικότητα για τετραμερές του τύπου Ir₄F₂₀ ή (IrF₅)₄, αποτελούμενο από τέσσερα οκτάεδρα.^[26]

Σύμπλοκα του ιριδίου

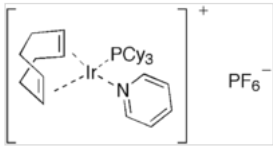
Οι οργανοϊριδικές ενώσεις περιέχουν δεσμό ιριδίου-άνθρακα και το μέταλλο έχει συνήθως μικρό αριθμό οξείδωσης. Για παράδειγμα, στην πιο κοινή και σταθερότερη διμερή οργανομεταλλική ένωση, το δωδεκακαρβονυλικό ιρίδιο^[36] , Ir₄(CO)₁₂, το Ir έχει αριθμό οξείδωσης 0.^[37] Σ' αυτή την ένωση, κάθε ένα από τα άτομα ιριδίου είναι συνδεδεμένο με τα άλλα τρία, δημιουργώντας έτσι ένα τετραεδρικό σύμπλεγμα. Μια άλλη γνωστή οργανοϊριδική ένωση είναι το οκτακαρβονυλικό ιρίδιο, Ir₂(CO)₈.

Αριθμοί οξείδωσης του Ir σε ορισμένες ενώσεις του	
-3	[Ir(CO) ₃] ³⁻
-1	[Ir(CO) ₃ (PPh ₃)] ⁻
0	Ir ₄ (CO) ₁₂
+1	IrH(CO)(PPh ₃) ₃
+2	IrCl ₂
+3	IrCl ₃
+4	IrO ₂
+5	Ir ₄ F ₂₀
+6	IrF ₆



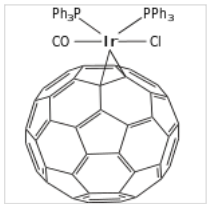
Το σύμπλοκο Vaska

Μερικές οργανομεταλλικές ενώσεις του Ir⁺ είναι γνωστές με το όνομα του ερευνητή που τις ανακάλυψε, όπως για παράδειγμα το "σύμπλοκο Vaska" ^[20] (trans-καρβονυλο χλωρο δις(τριφαινυλοφωσφίνο) ιρίδιο(I),^[36] IrCl(CO)[P(C₆H₅)₃]₂), το οποίο είναι επίπεδο τετραγωνικό 16e και d⁸ σύμπλοκο, και έχει την ασυνήθιστη ιδιότητα να δεσμεύει μόρια οξυγόνου, O₂ αλλά και να δίνει 18e και d⁶ οκταεδρικά διυδρίδια όταν προστίθεται σ' αυτό μοριακό υδρογόνο.^[38]



Ο καταλύτης Crabtree

Το 1991 παρασκευάστηκε η ενδιαφέρουσα ένωση Ir(n²-C₆₀)Cl(CO)(PPh₃)₂ από την αντίδραση βενζολικών διαλυμάτων του συμπλόκου Vaska και του μορίου C₆₀ που ονομάζεται μπακμινστερφυλλερένιο-C₆₀ (buckminsterfullerene):^[39] Ir(CO)(Cl)(PPh₃)₂ +



Το σύμπλοκο Ir(n²-C₆₀)Cl(CO)(PPh₃)₂

Ο "καταλύτης Crabtree" χρησιμοποιείται στις ομογενείς αντιδράσεις υδρογόνωσης. Και αυτή είναι επίπεδη τετραγωνική ένωση d⁸ με 16 ηλεκτρόνια σθένους που είναι υπεύθυνα για τη μεγάλη της δραστικότητα.

Το κατιόν Ir⁺ σχηματίζει και τετραγωνικά σύμπλοκα τύπου column (κιονοειδή) με δεσμό μετάλλου-μέταλλου π.χ. [IrCl(CO)₃]_n.^[20] Το σύμπλοκο ιόν [IrCl₆]²⁻ έχει σκούρο καφέ χρώμα και μπορεί να αναχθεί προς το σύμπλοκο ιόν [IrCl₆]³⁻ και αντιστρόφως.^[20] Το ιόν IrCl₄²⁻ που είναι ουσία οξειδωτική και οξειδώνει διάφορες οργανικές ενώσεις, ανάγεται επίσης εύκολα προς το ιόν IrCl₄³⁻.^[20]

Ενώσεις του ιριδίου με βιομηχανική σημασία

Το χλωροϊριδικό (IV) οξύ, H₂IrCl₆ και το άλας του με αμμώνιο είναι οι πιο σημαντικές ενώσεις του ιριδίου από βιομηχανική σκοπιά. Χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό του ιριδίου, ως πρόδρομες ουσίες για την παρασκευή των περισσότερων από τις άλλες ενώσεις του ιριδίου καθώς και στην προετοιμασία των επιχρισμάτων των ανοδικών ηλεκτροδίων. Το IrCl₃ είναι συχνά πρόδρομη ένωση για την παραγωγή ενώσεων του Ir(III). Μπορεί να παραληφθεί σε άνυδρες συνθήκες ή σε ένυδρη μορφή με διάλυση του Ir₂O₃ σε υδροχλωρικό οξύ. Μία άλλη ένωση που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη είναι το χλωροϊριδικό (III) αμμώνιο, (NH₄)₃IrCl₆. Τα σύμπλοκα του Ir⁺³ είναι διαμαγνητικά (χαμηλού spin) και γενικά έχουν οκταεδρική συμμετρία.^[37]

Ξεχωριστό βιομηχανικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαδικασία Cativa^[40] με την οποία παράγεται οξικό οξύ, CH₃COOH, από καρβονυλίωση της μεθανόλης, CH₃OH. Η μέθοδος αναπτύχθηκε από τη βιομηχανία BP και στηρίζεται στη δράση καταλύτη που περιέχει ιρίδιο όπως το ανιόν δικαρβόνυλο-διωδο ιρίδιο, [Ir(CO)₂I₂]⁻.

Χρήσεις - Εφαρμογές

Τα κράματα ιριδίου-οσμίου χρησιμοποιήθηκαν παλιότερα για την κατασκευή της άκρης της μύτης σε πένες. Η πρώτη σημαντική χρήση έγινε το 1834 σε μύτες πενών από χρυσό.^[3] Από το 1944, η διάσημη πένα "Parker 51" είναι εφοδιασμένη με μύτη από κράμα ρουθινίου-ιριδίου (με 3,8 % ιρίδιο). Σήμερα, το υλικό της άκρης στις σύγχρονες πένες εξακολουθεί συμβατικά να αποκαλείται «ιρίδιο», αν και έχει αντικατασταθεί προ πολλού από άλλα μέταλλα όπως το βολφράμιο.^[41]



Μύτη πένας από κράμα ιριδίου.



Το «Διεθνές Πρωτότυπο Μέτρο» αποτέλεσε το πρότυπο της μονάδας μήκους από το 1889 έως το 1960.

Το 1889 χρησιμοποιήθηκε κράμα 90% πλατίνας και 10% ιριδίου για την κατασκευή^[42] του Διεθνούς Πρωτότυπου Μέτρου και Χιλιόγραμμου μάζας, που διατηρούνται μέχρι σήμερα στο Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών στις Saint-Cloud.^[Σημ. 9] Παρόλο που το μέτρο αντικαταστάθηκε από τον ορισμό της θεμελιώδους μονάδας μήκους το 1960, το πρωτότυπο χιλιόγραμμο παραμένει ως διεθνές πρότυπο μάζας. Κράμα ιριδίου-πλατίνας είχε χρησιμοποιηθεί για τις σπές εξαερισμού ή για τμήματα κανονιών. Σύμφωνα με μια αναφορά της «Εκθεσης του Παρισιού» του 1867, ένα από τα κομμάτια που εκθέτονταν από την εταιρεία Johnson Matthey και «είχε χρησιμοποιηθεί σε πυροβόλο όπλο Withworth για πάνω από 3000 κανονιοβολισμούς, μόλις και μετά βίας έδειχνε κάποια σημάδια φθοράς. Όσοι γνώριζαν τα προβλήματα και μεγάλα έξοδα τα οποία προέκυπταν από τη φθορά των αεραγωγών του κανονιού, όταν αυτό ήταν σε ενεργό υπηρεσία, θα εκτιμούσαν το σημαντικό αυτό γεγονός».

Η μαύρη χρωστική, «μαύρο ιρίδιο» η οποία αποτελούνταν από εξαιρετικά λεπτή σκόνη του μετάλλου, χρησιμοποιήθηκε παλιότερα στη ζωγραφική πάνω σε πορσελάνη μετά την ανάμιξή της με άλλα συστατικά όπως χλωριούχο νάτριο. Η γκρι χρωστική, «γκρι ιρίδιο», που περιείχε οξείδια ιριδίου και ψευδαργύρου καθώς και μόλυβδο, χρησιμοποιήθηκε επίσης στη ζωγραφική.^[43]



Ακριβές αντίγραφο του «Διεθνούς Πρωτότυπου Χιλιόγραμμου Μάζας». Έχει ύψος και διάμετρο 39 mm.

Η παγκόσμια ζήτηση για το ιρίδιο, το 2006 και το 2007 φαίνεται στον διπλανό πίνακα. Στα επόμενα χρόνια, οι τάσεις ζήτησης δεν άλλαξαν σημαντικά και η μεγαλύτερη ζήτηση παραμένει για ηλεκτροχημικές εφαρμογές. Το υψηλό σημείο τήξης, η σκληρότητα και η αντοχή στη διάβρωση του ιριδίου και των κραμάτων του, καθορίζουν τις περισσότερες από τις εφαρμογές. Το 1908 ο Sir William Crookes χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το ιρίδιο για χωνευτήρια και για άλλες συσκευές ανθεκτικές σε υψηλή θερμοκρασία.^[20]

Ζήτηση Ir ανά εφαρμογή 2006-2007 (σε ουγγιές)		
Εφαρμογές	2006	2007
Χημικές	33.000	24.000
Ηλεκτροχημικές	34.000	34.000
Ηλεκτρικές	28.000	25.000
Άλλες	36.000	36.000
Συνολική ζήτηση	131.000	119.000

Βιομηχανία

Το ιρίδιο και ειδικά τα κράματα με όσμιο και λευκόχρυσο, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ανθεκτικών δοχείων στη βιομηχανία πολυμερών όπως του rayon. Το οσμιο-ιρίδιο χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυξίδων και ζυγαριών.^[4]

Ορισμένα μέρη των κινητήρων των αεροσκαφών κατασκευάζονται από κράματα ιριδίου ενώ κράματα ιριδίου-τιτανίου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή βαλβίδων σωληνώσεων σε μεγάλα βάθη στη θάλασσα, λόγω της αντοχής τους στη διάβρωση.^[4] Το ιρίδιο χρησιμοποιείται επίσης ως μέσο σκλήρυνσης στα κράματα πλατίνας. Η σκληρότητα Vickers του καθαρού λευκόχρυσου είναι 56 HV, ενώ το κράμα λευκόχρυσου με 50 % ιρίδιο, μπορεί να φτάσει πάνω από 400 HV.^[44]

Συσκευές που πρέπει να αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες συχνά κατασκευάζονται από ιρίδιο. Για παράδειγμα, από ιρίδιο φτιάχνονται πυριαντήρια που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία Czochralski για την παραγωγή συνθετικών πολύτιμων λίθων (όπως ζαφείρια) που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ημιαγωγών και λέιζερ στερεάς κατάστασης.^[45] Επίσης κρύσταλλοι από γαδολίνιο, γρανάτι, ύτριο, γάλλιο φτιάχνονται σε έντονα οξειδωτικές συνθήκες σε θερμοκρασίες μέχρι 2100 °C^[3] μέσα σε συσκευές από ιρίδιο. Τα κράματα ιριδίου είναι ιδανικά για την κατασκευή των κεντρικών ηλεκτροδίων των μπουζι.^[45] επειδή αντέχουν στη θερμοκρασία που παράγεται κατά την καύση σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Έχουν διάμετρο 0,6 mm και προτιμώνται από τα αντίστοιχα με νικέλιο που έχουν διάμετρο 2,5 mm.^[46] Ενώσεις του ιριδίου χρησιμοποιούνται επίσης ως καταλύτες στη διαδικασία Cativa για παραγωγή οξικού οξέος από καρβονυλίωση μεθανόλης.^[47]



Χωνευτήρι από Ir

Το μεταλλικό ιρίδιο χρησιμοποιείται ως καταλύτης σε ένα συγκεκριμένο τύπο κινητήρα αυτοκινήτου που παρουσιάστηκε το 1996 και ονομάστηκε «κινητήρας άμεσης ανάφλεξης».^[4]

Το ραδιοϊσότοπο ιρίδιο-192 είναι μια από τις δύο πιο σημαντικές πηγές ενέργειας για χρήση σε βιομηχανικές ακτινογραφίες-γ για έλεγχο της ακεραιότητας των κραμάτων των μετάλλων και κυρίως του χάλυβα.^[48]

Ιατρική

Το ¹⁹²Ir χρησιμοποιείται ως πηγή ακτινοβολίας γ για τη θεραπεία του καρκίνου με χρήση βραχυθεραπείας, μιας μορφής ακτινοθεραπείας, στην οποία μια σφραγισμένη πηγή ραδιενέργειας είναι τοποθετημένη μέσα ή δίπλα στην περιοχή που πρέπει να θεραπευτεί. Το ραδιοϊσότοπο αυτό χρησιμοποιείται επίσης σε ειδικές θεραπείες κακοήθων όγκων του προστάτη ή του τραχήλου της μήτρας.^[49]

Επιστήμες

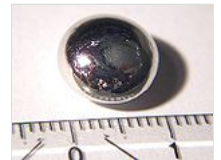
Το ιρίδιο, επειδή αντέχει σε θερμοκρασίες λειτουργίας μέχρι 2000°C, έχει χρησιμοποιηθεί για να εμπλουτίσει το καύσιμο πλουτωνίου-238 στις θερμοηλεκτρικές γεννήτριες ραδιοϊσοτόπων μη επανδρωμένων διαστημικών οχημάτων, όπως τα Voyager, Viking, Pioneer, Cassini, Galileo και New Horizons.^[3]

Μια άλλη χρήση του ιριδίου είναι στην οπτική των ακτίνων-X και ειδικότερα σε τηλεσκόπια ακτίνων-X. Τα κάτοπτρα του παρατηρητηρίου ακτίνων-X Chandra, έχουν επικάλυψη με ένα στρώμα ιριδίου πάχους 60 nm (δισεκατομμυριοστά του μέτρου). Το ιρίδιο αποδείχθηκε ότι είναι η καλύτερη επιλογή για την ανάκλαση των ακτίνων-X μετά από δοκιμές που έγιναν στο νικέλιο, στον χρυσό και στον λευκόχρυσο. Το στρώμα ιριδίου, που έπρεπε να έχει πάχος λίγων ατόμων, δημιουργήθηκε με την εναπόθεση ατμών ιριδίου πάνω σε στρώμα βάσης από χρώμιο σε συνθήκες υψηλού κενού.^[50]

Το ιρίδιο χρησιμοποιείται στη σωματιδιακή φυσική για την παραγωγή αντιπρωτονίων, μιας μορφής αντιύλης. Αντιπρωτόνια παράγονται όταν μια δέσμη πρωτονίων υψηλής ενέργειας προσπέσει σε έναν στόχο, κατασκευασμένο από υλικό πολύ μεγάλης πυκνότητας. Παρόλο που για την κατασκευή του στόχου μπορεί να χρησιμοποιηθεί βολφράμιο, το ιρίδιο έχει το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης σταθερότητας μετά την αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται λόγω της προσπίπτουσας δέσμης πρωτονίων.^[51]

Οργανομεταλλικές ενώσεις ιριδίου χρησιμοποιήθηκαν με επιτυχία για πρώτη φορά το 1982 στην ενεργοποίηση και διάσπαση δεσμών άνθρακα-υδρογόνου σε κορεσμένους υδρογονάνθρακες. Οι δεσμοί C-H είναι ιδιαίτερα ισχυροί και ανθεκτικοί στη διάσπαση, γι' αυτό και τα αλκάνια θεωρούνται γενικά αδρανείς ενώσεις.^[52]

Σύμπλοκα του ιριδίου χρησιμοποιούνται ως καταλύτες σε ασύμμετρες υδρογονώσεις.^[53] Αυτοί οι καταλύτες χρησιμοποιούνται στη σύνθεση φυσικών προϊόντων επειδή έχουν την ικανότητα να επιτυγχάνουν υδρογονώσεις ορισμένων δύσκολων υποστρωμάτων, όπως είναι τα ασύμμετρα αλκένια και να δημιουργούν μια μόνο από τις δύο πιθανές εναντιομερείς μορφές. Είναι δηλαδή καταλύτες απόλυτα στερεοεκλεκτικοί.



8.3 g ιριδίου
καθαρότητας 99,98%



Λεπτά φύλλα ιριδίου

Δείτε επίσης

- Λευκόχρυσος★
- Ρόδιο★
- Παλλάδιο★
- Ρουθίνιο★
- Όσμιο★

Σημειώσεις

- Σιδηρόφιλα στοιχεία είναι τα μεταβατικά μέταλλα μεγάλης πυκνότητα τα οποία δεσμεύουν το μεταλλικό σίδηρο σε στερεή ή τηγμένη κατάσταση. Σιδηρόφιλα μέταλλα είναι ο χρυσός, το κοβάλτιο, ο σίδηρος, το ιρίδιο, το μαγγάνιο, το μολυβδαίνιο, το νικέλιο, το όσμιο, το παλλάδιο, ο λευκόχρυσος, το ρήνιο, το ρόδιο και το ρουθίνιο
- Ο Smithson Tennant (1761-1815) ήταν Άγγλος χημικός. Το 1796 απέδειξε, με καύση, ότι το διαμάντι αποτελείται αποκλειστικά από άνθρακα. Το 1804 ανακάλυψε την ανακάλυψη του οσμίου και του ιριδίου
- Rudolf Ludwig Mössbauer. Γερμανός φυσικός. Μαζί με τον Αμερικανό Robert Hofstadter, κέρδισε το **Βραβείο Νόμπελ** το 1961 «για τις έρευνές του σχετικά με τον συντονισμό της απορρόφησης της ακτινοβολίας γάμμα και της ανακάλυψης του φαινομένου που φέρει το όνομά του»
- Η ουγγιά (troy ounce) είναι η παραδοσιακή μονάδα μέτρησης της μάζας των ευγενών μετάλλων. 1 ουγγιά = 31,1035 g και 1 Kg = 32,1507 troy oz
- Στις μηχανικές ιδιότητες ανήκει και η ελατότητα (malleability) και η ολκιμότητα (ductility). Ελατότητα μετάλλου ή μεταλλικού κράματος είναι η φυσική ιδιότητα με βάση την οποία τα υλικά μετατρέπονται στην επιθυμητή μορφή με σφυρηλάτηση. Ολκιμότητα είναι η φυσική ιδιότητα που έχουν πολλά μέταλλα και η οποία τα επιτρέπει να μετατρέπονται σε νήματα ή σύρματα.
- Η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας είναι η ακτίνα κάτω από την οποία ένα αντικείμενο δεν πρέπει να λυγίσει.
- Σχέση διατμητικής και πλευρικής πίεσης
- Ο συντελεστής αυτός μας δείχνει την εξάρτηση της επιμήκυνσης μιας ράβδου από το υλικό όταν αυτό θερμαίνεται ή ψύχεται
- Δημοτικό διαμέρισμα στο νοτιοδυτικό Παρίσι

Παραπομπές

- WolframAlpha : iridium (<http://www.wolframalpha.com/input/?i=iridium>)
- McDonald, M. (959). «The Platinum of New Granada: Mining and Metallurgy in the Spanish Colonial Empire» (<https://web.archive.org/web/20110609195507/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v3-i4-140-145>). *Platinum Metals Review* **3** (4): 140–145. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v3-i4-140-145>) στις 2011-06-09. <https://web.archive.org/web/20110609195507/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v3-i4-140-145>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-26.
- Hunt, L. B. (1987). «A History of Iridium» (<https://web.archive.org/web/20110609193607/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v31-i1-032-041>). *Platinum Metals Review* **31** (1): 32–41. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v31-i1-032-041>) στις 2011-06-09. <https://web.archive.org/web/20110609193607/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v31-i1-032-041>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-26.
- John Emsley "Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements", New York 2001
- Griffith, W. P. (2004). «Bicentenary of Four Platinum Group Metals. Part II: Osmium and iridium – events surrounding their discoveries». *Platinum Metals Review* **48** (4): 182–189.
- «International Platinum Group Metals Association (IPA)» (<https://web.archive.org/web/20100209211543/http://www.ipa-news.com/pgm/mining-production/index.htm>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.ipa-news.com/pgm/mining-production/index.htm>) στις 9 Σεπτεμβρίου 2010. Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2010.
- Βραβείο Νόμπελ Φυσικής 1961** (http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1961/)
- Greenwood N. N., Earnshaw, A. "Chemistry of the Elements (2nd ed.)", Oxford 1997
- webelements : iridium (<http://www.webelements.com/iridium/>)
- Μιχαηλίδης Κ. «Σημειώσεις Κοιτασματολογίας», Θεσσαλονίκη 1982
- Μιχαηλίδης Κ. «Μέταλλα της ομάδας του Λευκόχρυσου», Θεσσαλονίκη 2006

12. PLATINUM TODAY Production (<http://www.platinum.matthey.com/production/>)
13. Hartman, H. L.; Britton, S. G., επιμ. (1992). *SME mining engineering handbook* (<http://books.google.com/books?id=Wm6QM RaX9C4C&pg=PA69>). Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. σελ. 69. ISBN 9780873351003.
14. The Nobel Prize in Physics 1968 Luis Alvarez (http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1968/)
15. Alvarez L. W., Alvarez, W.; Asaro, F.; Michel, H. V. (1980). «Extraterrestrial cause for the Cretaceous–Tertiary extinction». *Science* **208** (4448): 1095–1108. PMID 17783054 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17783054>).
16. Hildebrand, A. R.; Penfield, Glen T.; Kring, David A.; Pilkington, Mark; Zanolguera, Antonio Camargo; Jacobsen, Stein B.; Boynton, William V. (1991). «Chicxulub Crater; a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico» (<http://geology.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/19/9/867>). *Geology* **19** (9): 867–871. <http://geology.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/19/9/867>.
17. Toutain, J.-P.; Meyer, G. (1989). «Iridium-Bearing Sublimates at a Hot-Spot Volcano (Piton De La Fournaise, Indian Ocean)». *Geophysical Research Letters* **16** (12): 1391–1394. doi:10.1029/GL016i012p01391 (<https://dx.doi.org/10.1029%2FGL016i012p01391>).
18. «United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)» (<https://web.archive.org/web/20100511044326/http://unctad.org/infocomm/anglais/platinum/chain.htm>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.unctad.org/infocomm/anglais/platinum/chain.htm>) στις 11 Μαΐου 2010. Ανακτήθηκε στις 15 Μαΐου 2010.
19. SAVE Tangle Lakes (<http://www.savetanglelakes.org/docs/PGMUSE.pdf>)
20. Μανουσάκης Γ.Ε. "Γενική και Ανόργανη Χημεία", Τόμος 2ος, Θεσσαλονίκη 1981
21. PLATINUM TODAY Price Charts (<http://www.platinum.matthey.com/pgm-prices/price-charts/>)
22. Jollie D., "PLATINUM 2008" Published in May 2008 by Johnson Matthey, England
23. G. K. White and A. T. Pawlowicz, J. (1970). «Crystallographic Properties of Iridium» (<https://dx.doi.org/10.1007/BF00628279>). *Journal of Low Temperature Physics* **2** (2): 631–639. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00628279>.
24. Arblaster, J. W. (2010). «Crystallographic Properties of Iridium» (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/54-2-93-102#B25>). *Platinum Metals Review* **54** (2): 93–102. <http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/54-2-93-102#B25>.
25. Arblaster, J. W. (1995). «Osmium, the Densest Metal Known» (<http://web.archive.org/web/20110927045236/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v39-i4-164-164>). *Platinum Metals Review* **39** (4): 164. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v39-i4-164-164>) στις 2011-09-27. <https://web.archive.org/web/20110927045236/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v39-i4-164-164>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-27.
26. Cotton S.A., "Chemistry of Precious Metals", New York, 1997
27. Μπαζάκης Ι.Α. *Γενική Χημεία*. Αθήνα.
28. «The PGM database. Βάση δεδομένων για τα PGMs της εταιρείας "Johnson Matthey"» (<https://web.archive.org/web/20100310075858/http://www.platinummetalsreview.com/jmpgm/index.jsp>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/jmpgm/index.jsp>) στις 10 Μαρτίου 2010. Ανακτήθηκε στις 11 Απριλίου 2010.
29. Τεχνικά στοιχεία για το ιρίδιο (<http://periodictable.com/Elements/077/data.html>)
30. Arblaster, J. W. (2003). «The discoverers of the iridium isotopes: the thirty-six known iridium isotopes found between 1934 and 2001» (<https://web.archive.org/web/20090106025614/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/47-4-167-174>). *Platinum Metals Review* **47** (4): 167–174. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/47-4-167-174>) στις 2009-01-06. <https://web.archive.org/web/20090106025614/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/47-4-167-174>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-27.
31. Environmental Chemistry (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/>)
32. «SPI Supplies Division Structure Probe, Inc. "Material Safety Data Sheet : Iridium metal"» (<https://web.archive.org/web/20100327083452/http://www.2spi.com/catalog/msds/msds014167.html>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.2spi.com/catalog/msds/msds014167.html>) στις 27 Μαρτίου 2010. Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2010.
33. «IRCl₃·6H₂O MATERIAL SAFETY DATA SHEET» (<https://web.archive.org/web/20070809060249/http://www.espi-metals.com/msds%27s/iridiumchloride.pdf>) (PDF). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.espi-metals.com/msds/s/iridiumchloride.pdf>) (PDF) στις 9 Αυγούστου 2007. Ανακτήθηκε στις 27 Απριλίου 2010.
34. Mager Stellman, J. (1998). «Iridium». *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety* (http://books.google.com/books?id=nDhpLa1r144C&printsec=frontcover&hl=el&source=gbv_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q=iridium&f=false). International Labour Organization. σελ. 63.19.
35. Το ιρίδιο στα τρόφιμα (<http://www.food-info.net/gr/metal/iridium.htm>)
36. Μανουσάκης Γ.Ε. "Γενική και Ανόργανη Χημεία", Τόμος 1ος, Θεσσαλονίκη 1981
37. Τσασίδης Ι. "Χημεία Ενώσεων Συναρμογής", Θεσσαλονίκη 1986
38. Crabtree R.H., "The Organometallic Chemistry of the Transition Metals", Yale University, New Haven, Connecticut, 2005
39. Andreas Hirsch, Michael Brettreich (2005). *Fullerenes: chemistry and reactions* (http://books.google.gr/books?id=tH4tnKBi-3UC&pg=PA238&lpg=PA238&dq=addition+of+Ir%28CO%29Cl%28PPh3%292+to+c60&source=bl&ots=o5nSUUK-ob&sig=Mlo6bazVzvrvwG_kq6VsjJvxy9rM&hl=el&ei=ZlFYs_uFLYmMOJX8gLAG&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBgQ6AEAw#v=onepage&q=Ir%28CO%29Cl%28PPh3%292&f=false), σελ. page 237. http://books.google.gr/books?id=tH4tnKBi-3UC&pg=PA238&lpg=PA238&dq=addition+of+Ir%28CO%29Cl%28PPh3%292+to+c60&source=bl&ots=o5nSUUK-ob&sig=Mlo6bazVzvrvwG_kq6VsjJvxy9rM&hl=el&ei=ZlFYs_uFLYmMOJX8gLAG&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CBgQ6AEAw#v=onepage&q=Ir%28CO%29Cl%28PPh3%292&f=false
40. «Παραγωγή οξικού οξέος από μεθανόλη (Μέθοδος Cativa)» (<http://web.archive.org/web/20150924074441/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v44-i3-094-105.pdf>) (PDF). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v44-i3-094-105.pdf>) (PDF) στις 24 Σεπτεμβρίου 2015. Ανακτήθηκε στις 17 Απριλίου 2010.
41. Mottishaw, J. (1999). «Notes from the Nib Works—Where's the Iridium?» (<https://web.archive.org/web/20090819013411/http://www.nibs.com/ArticleIndex.html>). *The PENnant XIII* (2). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.nibs.com/ArticleIndex.html>) στις 2009-08-19. <https://web.archive.org/web/20090819013411/http://www.nibs.com/ArticleIndex.html> Ανακτήθηκε στις 2010-04-28.
42. Comptes Rendus de la 1e CGPM (1889), 1890, 34 (<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/1/1/>)
43. Andrew Ure, M.D. (1808). *A Dictionary of Art, Manufactures and Mines* (http://books.google.gr/books?id=MAZLPjibkxkC&pg=PA910&lpg=PA910&dq=pigment+iridium+black&source=bl&ots=zYcull4sX-&sig=qJY3yFKfrqLGB3OxO4zHeZ7V4VY&hl=el&ei=2vYS_89w5g4mezx2gY&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CDIQC6AEAw#v=onepage&q=pigment%20iridium%20black&f=false). σελ. 910. http://books.google.gr/books?id=MAZLPjibkxkC&pg=PA910&lpg=PA910&dq=pigment+iridium+black&source=bl&ots=zYcull4sX-&sig=qJY3yFKfrqLGB3OxO4zHeZ7V4VY&hl=el&ei=2vYS_89w5g4mezx2gY&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=7&ved=0CDIQC6AEAw#v=onepage&q=pigment%20iridium%20black&f=false
44. Darling, A. S. (1960). «Iridium Platinum Alloys» (<https://web.archive.org/web/20081029205839/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v4-i1-018-026.pdf>) (PDF). *Platinum Metals Review* **4** (1): 23 fig. 6. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v4-i1-018-026.pdf>) στις 2008-10-29. <https://web.archive.org/web/20081029205839/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v4-i1-018-026.pdf>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-28.
45. Handley, J. R. (1986). «Increasing Applications for Iridium» (<https://web.archive.org/web/20110609195631/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v30-i1-012-013>). *Platinum Metals Review* **30** (1): 12–13. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v30-i1-012-013>) στις 2011-06-09. <https://web.archive.org/web/20110609195631/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v30-i1-012-013>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-28.
46. «NGK Spark Plugs Technical Information» (https://web.archive.org/web/20100317143859/http://www.ngkspark.com.au/sparkplug_tech.php). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://www.ngkspark.com.au/sparkplug_tech.php) στις 17 Μαρτίου 2010. Ανακτήθηκε στις 4 Μαΐου 2010.

47. «Η μέθοδος Cativa για την παραγωγή οξικού οξέος με καρβονυλίωση μεθανόλης» (<https://web.archive.org/web/20150924074441/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v44-i3-094-105.pdf>) (PDF). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v44-i3-094-105.pdf>) (PDF) στις 24 Σεπτεμβρίου 2015. Ανακτήθηκε στις 17 Απριλίου 2010.
48. Halmshaw, R. (1954). «The use and scope of Iridium 192 for the radiography of steel». *British Journal of Applied Physics* **5**: 238–243. doi:10.1088/0508-3443/5/7/302 (<https://dx.doi.org/10.1088/0508-3443/5/7/302>).
49. Conill C, Sánchez-Reyes A, Molla M, Vilalta A. (2004). «Brachytherapy with ¹⁹²Ir as treatment of carcinoma of the tarsal structure of the eyelid.» (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15275716>). *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* **59** (5): 1326-9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15275716>.
50. «Face-to-Face with Jerry Johnston, CXC Program Manager & Bob Hahn, Chief Engineer at Optical Coating Laboratories, Inc., Santa Rosa, CA» (<http://chandra.harvard.edu/press/bios/johnston.html>). Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics; Chandra X-ray Center. 1995. Ανακτήθηκε στις 24 Σεπτεμβρίου 2008.
51. Möhl, D. (1997). «Production of low-energy antiprotons». *Zeitschrift für Hyperfine Interactions* **109**: 33–41. doi:10.1023/A:1012680728257 (<https://dx.doi.org/10.1023/A:1012680728257>).
52. Morrison R. T., Boyd R. N. "Οργανική Χημεία" Τόμοι 1ος, 2ος, 3ος Μετάφραση: Σακαρέλλος-Πηλίδης-Γεροθανάσης, Ιωάννινα 1991.
53. Källström, K; Munslow, I; Andersson, P. G. (2006). «Ir-catalysed asymmetric hydrogenation: Ligands, substrates and mechanism». *Chemistry – A European Journal* **12** (12): 3194–3200. doi:10.1002/chem.200500755 (<https://dx.doi.org/10.1002/chem.200500755>) PMID 16304642 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16304642>).

Επιλεγμένη βιβλιογραφία

- Cotton, Simon A. (1997). *Chemistry of Precious Metals*. New York: Springer. ISBN 978-0-7514-0413-5.
- Crabtree, Robert H. (2005). *The Organometallic Chemistry of the Transition Metals* (https://archive.org/details/The_Organometallic_Chemistry_Of_Transition_Metals) (4η έκδοση). Yale University, New Haven, Connecticut: Wiley-Interscience. ISBN 0-4716-6256-9.
- 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.
- Evans, Anthony M. (1993). *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction* (https://web.archive.org/web/20210305140609/https://gendocs.ru/docs/41/40119/conv_1/file1.pdf) (PDF) (3η έκδοση). Oxford: Blackwell Science. ISBN 978-0-632-02953-2. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (http://gendocs.ru/docs/41/40119/conv_1/file1.pdf) (PDF) στις 5 Μαρτίου 2021. Ανακτήθηκε στις 23 Ιανουαρίου 2014.
- Greenwood, Norman Neill; Earnshaw, Alan (1997). *Chemistry of the Elements* (2η έκδοση). Oxford: Butterworth–Heinemann. ISBN 0-7506-3365-4.
- Hirsch, Andreas; Brettreich, Michael (2004). *Fullerenes: Chemistry and Reactions* (1η έκδοση). Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-30820-0.
- Jollie, David (2008). *Platinum 2008*. England: Johnson Matthey. ISSN 0268-7305 (<https://www.worldcat.org/issn/0268-7305>).
- Μανουσάκης, Γεώργιος Ε. (1994). *Γενική και Ανόργανη Χημεία*. Θεσσαλονίκη: Αφοί Κυριακίδη. ISBN 960-343-272-5.
- Misra, Kula C. (2000). *Understanding Mineral Deposits* (14η έκδοση). Springer. ISBN 978-0-04-553009-0.
- Μιχαηλίδης, Κλεόπας Μιχαήλ (1982). *Κοιτασματολογική μελέτη των σιδηρονικελιούχων με χρώμιο λατεριτών της περιοχής Έδεσσας (Διδακτορική διατριβή)*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Morrison, Robert Thornton; Boyd, Robert Neilson (1988). *Οργανική Χημεία (3 Τόμοι)* (http://195.251.197.63/ipac20/ipac.jsp?session=1390175V69YV8.102099&profile=clib-1&uri=link=3100006~!1065714~!3100001~!3100002&aspect=subtab13&menu=search&ri=2&source=-luoi_library&term=%CE%9F%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE+%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%AF%CE%B1&index=ALITITLE) (4η έκδοση). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. ISBN 0-1364-3669-2. Ανακτήθηκε στις 28 Ιανουαρίου 2014. (μετάφραση: Σακαρέλλος, Κωνσταντίνος; Πηλίδης, Γεώργιος Α.; Γεροθανάσης, Ιωάννης Π.; κ.ά.).
- Μπαζάκης, Ιωάννης Α. *Γενική Χημεία*. Αθήνα.
- Oro, Luis A.; Claver, Carmen, επιμ. (2008). *Iridium Complexes in Organic Synthesis*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 978-3-527-31996-1.
- Pauling, Linus (1988). *General Chemistry* (https://archive.org/details/generalchemistry00paul_0) (3η έκδοση). Dover Publications. ISBN 978-04866-5622-9.
- Τοσσίδης, Ιωάννης Α. (2001). *Χημεία Ενώσεων Συναρμογής*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη. ISBN 978-96043-1754-7.
- Ure, Andrew (1808). *A Dictionary of Art, Manufactures, and Mines (2 volumes)* (http://books.google.gr/books?id=MAzLPjibkxkC&printsec=frontcover&hl=el&source=gbp_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). New York: D. Appleton & Company. ISBN 1-1474-5213-X. Ανακτήθηκε στις 20 Ιανουαρίου 2014. Ψηφιοποιήθηκε στις 23 Νοεμβρίου 2005 από το πρωτότυπο στο Πανεπιστήμιο του Μίτσιγκαν. Κυκλοφορεί επανέκδοση από την General Books, 19 Μαΐου 2012, ISBN 978-123-625612-6.

Εξωτερικοί σύνδεσμοι

- Iridium (<http://www.periodicvideos.com/videos/077.htm>) at *The Periodic Table of Videos* (University of Nottingham)
- Iridium in Encyclopædia Britannica (<https://www.britannica.com/EBchecked/topic/293985/iridium-Ir>)
- Mining Glossary (<http://www.platinum.matthey.com/production/mining-glossary/>)
- Το "Όριο K-T" και η εξαφάνιση των δεινοσαύρων (<http://www.physics4u.gr/news/2004/scnews1476.html>)
- Υπόθεση Alvarez (<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=143140>)
- Iridium (<http://periodictable.com/Elements/077/index.html>)
- Mineral Species containing Iridium (Ir) (<http://www.webmineral.com/chem/Chem-Ir.shtml>)
- Mössbauer Effect (<https://web.archive.org/web/20120229165908/http://www.mossbauer.org/mossbauer.html>)
- Processing of Iridium and Iridium Alloys (<http://www.ingentaconnect.com/content/matthey/pmr/2008/00000052/00000003/art00009?token=00481123a437a63736a6f2c47795d23663f4445746e6f644a467c79675d7c4e724770cbc>)
- Δημοσιεύσεις για τη "Βραχυθεραπεία" (https://web.archive.org/web/20120705053259/http://www.whatsnew.gr/wikilinks/2/1253096737_34.html)
- Chemistry, Structures & 3D Molecules (<https://web.archive.org/web/20100114015307/http://3dchem.com/element.asp?selected=Ir>)