

κοινότητα όμως της εποχής, αγνόησε τον άσημο Πολωνό επιστήμονα, το έργο του οποίου δεν μπόρεσε να επιβεβαιώσει. Ο ίδιος ο Σνιάντετσκι, εξαιτίας αυτής της διαμάχης, απέσυρε την απαίτησή για την ανακάλυψή του την οποία τελικά και απέρριψε.^[5]

Ο Σουηδός χημικός Γιενς Γιάκομπ Μπερτσέλιους (Jöns Jakob Berzelius), ένας από τους πιο διακεκριμένους επιστήμονες στον τομέα των νέων χημικών στοιχείων και ο Γερμανός Γκότφρεντ Βίλελμ Όσαν (Gottfried Wilhelm Osann) παρ' ολίγο να ανακαλύψουν το ρουθίνιο το 1827.^[6] Εξέτασαν τα κατάλοιπα από τη διάλυση μεταλλευμάτων λευκόχρυσου από τα Ουράλια όρη στο βασιλικό νερό. Ο Μπερτσέλιους δε διαπίστωσε ασυνήθιστα μέταλλα, αλλά ο Όσαν σκέφθηκε ότι βρήκε τρία νέα μέταλλα, το πλουράνιο (pluranium), το ρουθίνιο (ruthenium) και το πολίνιο (rolinium). Αυτή η διένεξη μεταξύ τους, οδήγησε σε μια μακροχρόνια διαμάχη σχετικά με τη σύνθεση των καταλοίπων της επεξεργασίας του λευκόχρυσου.^[7]



Καρλ Ερνστ Κλάους

Το 1844, ο Ρώσος επιστήμονας Καρλ Ερνστ (ή Κάρλοβιτς) Κλάους (Karl Ernst Claus ή Karl Karlovich Klaus) (1796-1864) ανακάλυψε το ρουθίνιο και ταυτόχρονα απέδειξε ότι οι ενώσεις που είχαν παρασκευαστεί από τον Όσαν περιείχαν μικρές ποσότητες ρουθηνίου.^[3] Ο Κλάους απομόνωσε 6 γραμμάρια ρουθηνίου από τα αδιάλυτα (στο βασιλικό νερό) κατάλοιπα της επεξεργασίας της πλατίνας κατά την παραγωγή κερμάτων ρουβλίων, ενώ εργαζόταν στο Πανεπιστήμιο του Καζάν.^[7] Ο Κλάους δεν κατάφερε μόνο να απομονώσει το ρουθίνιο, αλλά καθόρισε και το ατομικό του βάρος και τις χημικές του ιδιότητες. Εντόπισε ακόμη την ομοιότητα των χημικών ιδιοτήτων του ρουθηνίου με το ρόδιο, το παλλάδιο και την πλατίνα με σχολαστικά τεκμηριωμένα πειράματα. Για αυτή του την ανακάλυψη, τιμήθηκε με το Βραβείο Ντέμιντοφ των 5000 ρουβλίων.^[7] Ο Κλάους έστειλε δείγματα του νέου στοιχείου για ανάλυση στον Μπερτσέλιους, και έτσι η ανακάλυψη του νέου χημικού στοιχείου γνωστοποιήθηκε στους Ευρωπαίους επιστήμονες.

Το όνομα «ρουθίνιο» προέρχεται από τη Ρουθηνία (Ruthenia), τη λατινική λέξη για τη Ρως (Rus), μια ιστορική περιοχή η οποία περιλαμβάνει τη σημερινή δυτική Ρωσία, την Ουκρανία, τη Λευκορωσία, και τμήματα της Σλοβακίας και της Πολωνίας. Το όνομα αυτό το είχε προτείνει και ο Osann το 1828.

Αναφέρει ο Claus:^[7]

I named the new body, in honour of my Motherland, ruthenium. I had every right to call it by this name because Mr. Osann relinquished his ruthenium and the word does not yet exist in chemistry.

(Ονόμασα το νέο σώμα, προς τιμήν της Πατρίδας μου, ρουθίνιο. Είχα κάθε δικαίωμα να το ονομάσω έτσι επειδή ο κ. Όσαν παραιτήθηκε (αποποιήθηκε) από το δικό του ρουθίνιο και η λέξη δεν υπάρχει ακόμη στη χημεία)

Εμφανίσεις - Εξόρυξη - Απομόνωση του μετάλλου

Το ρουθίνιο είναι εξαιρετικά σπάνιο μέταλλο και είναι το 74ο χημικό στοιχείο, σε σειρά περιεκτικότητας στη Γη. Κάθε χρόνο εξορύσσονται περίπου 12 τόνοι ρουθηνίου, ενώ τα παγκόσμια αποθέματα εκτιμώνται σε 5000 τόνους.^[8]

Εμφανίσεις

Το ρουθίνιο βρίσκεται ως κράμα με τα άλλα PGM σε κοιτάσματα σιδήρου, νικελίου, χρωμίου και χαλκού στη Νότια Αφρική, στη Ρωσία, στη Βόρεια Αμερική και στη Νότια Αμερική. Επίσης εμφανίζεται στη φύση στο ορυκτό λορίτης, RuS₂ που είναι ομόλογο του σιδηροπυρίτη FeS₂.^[10]

Μαγνητική συμπεριφορά	παραμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	74,27 nΩ·m
Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα	13,46 MS/m
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	(27 °C) 117 W/(m·K)
Σκληρότητα Mohs	6,5
Σκληρότητα Brinell	2160 MPa
Μέτρο ελαστικότητας (Young's modulus)	447 GPa
Μέτρο διάτμησης (Shear modulus)	173 GPa
Μέτρο ελαστικότητας όγκου (Bulk modulus)	220 GPa
Λόγος Poisson	0,30
Ταχύτητα του ήχου	(20 °C) 5970 m/s
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά	

Η περιεκτικότητα των κοιτασμάτων PGM σε ρουθίνιο κυμαίνεται, ανάλογα με την περιοχή: Αυτά που εξορύσσονται στη Νότια Αφρική περιέχουν κατά μέσο όρο 11% Ru, ενώ αυτά που εξορύσσονται στη Ρωσία περιέχουν κατά μέσο όρο 2% Ru.^[11]

Το αυτοφύες ρουθίνιο είναι πάρα πολύ σπάνιο γιατί το συγγενικό ιρίδιο αντικαθιστά ένα μέρος του στην κρυσταλλική του κατασκευή.

Εξόρυξη - Προκατεργασία

Η εξόρυξη των PGM αποτελεί σημαντική πλουτοπαραγωγική πηγή για τις χώρες στις οποίες αυτά παράγονται. Το κατώτερο όριο εκμετάλλευσης, στα πρωτογενή κοιτάσματα, είναι 3 g λευκόχρυσου/tn. Στα δευτερογενή κοιτάσματα (αλλούβια), το όριο εκμετάλλευσης είναι 0,2 g Pt/tn.

Τα PGM 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.^[12] Στη συνέχεια, με μια διαδικασία που ονομάζεται «επίπλευση αφρού», το μέταλλευμα αναμιγνύεται με νερό και χημικές ουσίες οπότε εμπλουτίζεται σε PGM, 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 επίπλευσης 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 το 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 διοχέτευση ρευμάτων αέρα. Η τελική περιεκτικότητα σε πολύτιμα μέταλλα αντιπροσωπεύει ένα πολύ μικρό ποσοστό της αρχικής μάζας του μεταλλεύματος. Για παράδειγμα, στο ορυχείο Στίλγουοτερ των Η.Π.Α. από 850.000 τόνους πρωτογενούς μεταλλεύματος, θα παραχθούν τελικά σε ετήσια βάση μόνο 15,5 τόνοι εξευγενισμένων PGM.^[13]

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 PGM 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 PGM.

Διαχωρισμός - Απομόνωση του ρουθινίου

Το ρουθίνιο, όπως και τα άλλα μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου, λαμβάνεται εμπορικά ως υποπροϊόν της παραγωγής νικελίου και χαλκού αλλά και με άμεση επεξεργασία των μεταλλευμάτων λευκόχρυσου.

Κατά τη διάρκεια του ηλεκτρολυτικού εξευγενισμού του χαλκού και του νικελίου, τα ευγενή μέταλλα συμπεριλαμβανομένων του σεληνίου και τελλουρίου συγκεντρώνονται στο κάτω μέρος της ανόδου, με μορφή λάσπης, από την οποία και εξάγονται.^[14] Για τον διαχωρισμό τους το μείγμα των μετάλλων πρώτα διαλύεται σε κατάλληλο διαλύτη και μετά διαχωρίζονται τα συστατικά του με διάφορες μεθόδους ανάλογα με τη σύνθεση του μείγματος.

Η κλασική διαδικασία απομόνωσης του ρουθινίου είναι η ακόλουθη:^{[9][15]} Αν συνυπάρχουν χρυσός (Au) ή/και άργυρος (Ag) πρέπει να απομακρυνθούν. Το μίγμα μετάλλων πρώτα κατεργάζεται με βασιλικό νερό στο οποίο διαλύονται ο λευκόχρυσος (Pt), το παλλάδιο (Pd) και ο Au. Τα άλλα μέταλλα δηλ. ρουθίνιο (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 (Pb(NO₃)₂).

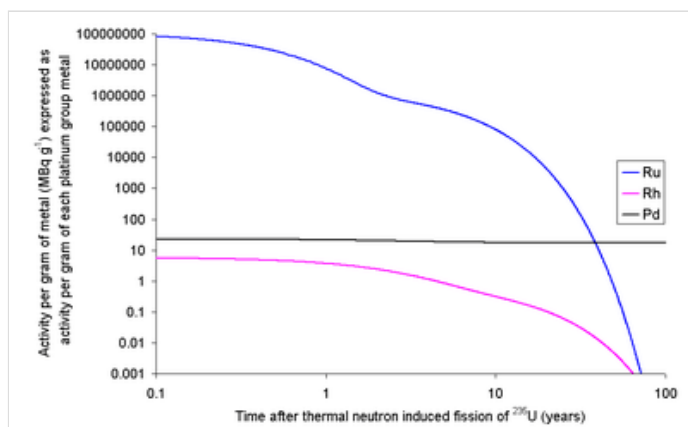
Περιεκτικότητα Ru σε διάφορα περιβάλλοντα^[9]

Περιβάλλον	ppb κατά βάρος	ppb κατά άτομο
Σύμπαν	4	0,05
Ήλιος	5	0,06
Μετεωρίτες	830	160
Λιθόσφαιρα	1	0,2
Θαλασσινό νερό	0,0007	0,00004

Τα αδιάλυτα που απομένουν είναι τα μέταλλα Ru, Os, Rh, Ir. Ακολουθεί σύντηξη με όξινο θειικό νάτριο (NaHSO_4) και διάλυση στο νερό, οπότε απομονώνεται το διαλυτό θειικό ρόδιο(III), $\text{Rh}_2(\text{SO})_3$, ενώ τα άλλα μέταλλα (Ru, Os, Ir) μένουν αδιάλυτα, συντηκονται με υπεροξείδιο του νατρίου (Na_2O_2) και πλένονται με νερό οπότε απομένει ένα υπόλειμμα που περιέχει IrO_2 από το οποίο θα απομονωθεί το ιρίδιο ενώ τα μέταλλα Ru και Os με μορφή ιόντων RuO_4^{2-} και OsO_4^{2-} απομακρύνονται με την πλύση. Ακολουθεί αντίδραση με αέριο χλώριο οπότε σχηματίζονται τα πτητικά οξείδια RuO_4 και OsO_4 . Το οξείδιο του ρουθηνίου(VIII), RuO_4 , διαλύεται με υδροχλωρικό οξύ, HCl , οπότε σχηματίζεται χλωρορουθηνικό οξύ, H_3RuCl_6 και το ρουθίνιο απομακρύνεται με επίδραση NH_4Cl ως καθαρό χλωρορουθηνικό αμμώνιο, $(\text{NH}_4)_3\text{RuCl}_6$ από το οποίο προκύπτει τελικά σκόνη καθαρού Ru μετά από εξάτμιση μέχρι ξηρού και αντίδραση με αέριο υδρογόνο στους $100\text{ }^\circ\text{C}$: $2(\text{NH}_4)_3\text{RuCl}_6 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Ru} + 6\text{NH}_4\text{Cl} + 6\text{HCl}$.

Το ρουθίνιο σε προϊόντα σχάσης

Κάθε κιλό των προϊόντων σχάσης του ^{235}U περιέχει 63,44 γραμμάρια ραδιοϊσοτόπων του Ru με ημιζωές μεγαλύτερες από μία ημέρα. Επειδή τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα περιέχουν περίπου 3% προϊόντα σχάσης, 1 τόνος τέτοιων καυσίμων θα περιέχει περίπου 1,9 Kg Ru.^[16] Τα ισότοπα ^{103}Ru (με ημιζωή 39 ημέρες) και ^{106}Ru (με ημιζωή 373 ημέρες) καθιστούν το σχάσιμο ρουθίνιο εξαιρετικά ραδιενεργό. Έτσι, το ρουθίνιο αυτό θα πρέπει να αποθηκευτεί και να ψυχθεί τουλάχιστον για 10 χρόνια για να γίνει ανενεργό. Επειδή το ρουθίνιο έχει χαμηλή τιμή και λίγες χρήσεις, η ανάκτησή του από πυρηνικά κατάλοιπα είναι προς το παρόν οικονομικά ασύμφορη και δεν έχει αρχίσει ακόμη η εφαρμογή της.^[17]



Η ραδιενέργεια σε $\text{MBq} \frac{[\text{Σημ. 1}]}{\text{g}}$ για καθένα από τα PGM που δημιουργείται από τη σχάση του ουρανίου. Το πιο ραδιενεργό είναι το Ru. Το Pd έχει σχεδόν σταθερή δραστηριότητα, ενώ το Rh είναι το λιγότερο ραδιενεργό

Οικονομικά στοιχεία

Η τιμή του ρουθηνίου στις 8:00 το πρωί (ώρα Λονδίνου) της 26ης Φεβρουαρίου 2012 ήταν 127 δολάρια/ουγκιά.^[18]

Το ρουθίνιο δεν είναι ακριβό μέταλλο, η τιμή του όμως υπόκειται σε μεγάλες διακυμάνσεις. Η μέση τιμή ρουθηνίου καθαρότητας 99,9%^[Σημ. 2] κατά τα έτη 1992 έως και το 2005 ήταν περίπου 56 δολάρια/ουγκιά. Από το 2006 όμως άρχισε να ανεβαίνει εντυπωσιακά η τιμή του από τα 180 δολάρια/ουγκιά και μέχρι το τέλος του 2008 η μέση τιμή ήταν περίπου 365 δολάρια/ουγκιά. Από τον Νοέμβριο του 2009 άρχισε η τιμή να ανεβαίνει ξανά ενώ στις 7 Απριλίου 2011 έφτασε τα 180 δολάρια/ουγκιά σχεδόν όση ήταν και το 2006.

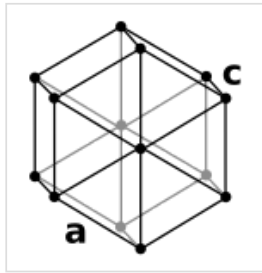
Αυτές οι μεταβολές στην τιμή του ρουθηνίου (και των άλλων εξωτικών PGM όπως τα Ir, Os, Rh) οφείλονται στο ότι το ρουθίνιο είναι παραπροϊόν της εξόρυξης του λευκόχρυσου και του νικελίου και κάθε μέρα πωλούνται και αγοράζονται πολύ μικρές ποσότητες που δεν ανταποκρίνονται στις μεταβολές της ζήτησης. Αν η διαθέσιμη ποσότητα ενός συγκεκριμένου μετάλλου είναι μικρή, η τιμή του θα αυξηθεί δραματικά και θα πέσει εξίσου απότομα όταν χαλαρώσει η ζήτηση.

Ιδιότητες

Φυσικές

Το ρουθίνιο είναι πολύ σκληρό ασημόγκριζο αδρανές μέταλλο με τέσσερις κρυσταλλικές διαμορφώσεις. Έχει υψηλότερο σημείο τήξης από τον λευκόχρυσο, σχεδόν την ίδια θερμοκρασία βρασμού αλλά πολύ μικρότερη πυκνότητα.

Το ρουθίνιο κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα και γίνεται υπεραγωγίμο στους $-272,66\text{ }^\circ\text{C}$ ενώ ένα κράμα ρουθηνίου-μολυβδαινίου γίνεται υπεραγωγίμο στους $-262\text{ }^\circ\text{C}$.^[19]



Κρύσταλλος Ru,
 $a = 270,59 \text{ pm}$
 $c = 428,15 \text{ pm}$

Είναι παραμαγνητικό μέταλλο διότι έχει μονήρη ηλεκτρόνια τα οποία συμπεριφέρονται ως στοιχειώδεις μαγνήτες και έλκονται από μαγνητικά πεδία.

Η τάση των ατμών του είναι αμελητέα και μετρήσιμη μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες : στους $2315 \text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι μόνο 10^{-5} Atm και φθάνει στην 1 Atm στους $4115 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Μηχανικές ιδιότητες

Το ρουθίνιο είναι το τέταρτο σκληρότερο όλων των χημικών στοιχείων, μετά από το όσμιο (Os), το ιρίδιο (Ir) και το ρήνιο (Re).



Μισό πλίνθωμα (μπάρα) ρουθηνίου
 99,99%

Θερμικές ιδιότητες

Έχει πολύ μεγάλη ειδική θερμότητα, τη μεγαλύτερη μεταξύ των PGM.^[20]

Οπτικές ιδιότητες

Το ρουθίνιο δεν είναι ιδιαίτερα λαμπρό μέταλλο. Έχει ανισότροπες οπτικές ιδιότητες, όπως και το όσμιο, και ανακλά το ορατό φως σχεδόν κατά 65%.^[20]

Ηλεκτρικές ιδιότητες

Το ρουθίνιο είναι άριστος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Έχει την 18η μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από όλα τα χημικά στοιχεία και την 3η μεγαλύτερη μεταξύ των PGM (μετά από το ρόδιο και το ιρίδιο).^[21]

Χημικές

Το ρουθίνιο ανήκει στη β' 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 Rh είναι περίπλοκο επειδή διαθέτει πολλά τροχιακά παραπλήσιας ενέργειας και τα ηλεκτρόνια έχουν πολλές επιλογές όταν μεταβαίνουν από το ένα τροχιακό στο άλλο. Η μεταβάσεις αυτές προϋποθέτουν απορρόφηση ενέργειας και στη συνέχεια επανεκπομπή της. Έτσι παρουσιάζεται το διάχυτο φάσμα εκπομπής και γι' αυτό το ρουθίνιο ανήκει στο d-block (το d στα αγγλικά αντιπροσωπεύει τη λέξη diffuse που σημαίνει διάχυτος).^[22]

Οι ενέργειες ιονισμού (σε KJ/mol) των σταδιακών μετατροπών του ρουθηνίου σε ιόντα από Ru^+ έως Ru^{9+} καθώς και τα δυναμικά ημιαντιδράσεων αναγωγής διαφόρων χλωριούχων και οξυγονούχων ενώσεων και ιόντων του Ru, βρίσκονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Ενέργειες ιονισμού

Μετατροπή	Ενέργεια ιονισμού (KJ/mol)
Ru - Ru ⁺	711
Ru ⁺ - Ru ²⁺	1617
Ru ²⁺ - Ru ³⁺	2747
Ru ³⁺ - Ru ⁴⁺	4500
Ru ⁴⁺ - Ru ⁵⁺	6100
Ru ⁵⁺ - Ru ⁶⁺	7800
Ru ⁶⁺ - Ru ⁷⁺	9600
Ru ⁷⁺ - Ru ⁸⁺	11500
Ru ⁸⁺ - Ru ⁹⁺	18700
Ru ⁸⁺ - Ru ⁹⁺	20900

Δυναμικά αναγωγής

Ημιαντίδραση	Δυναμικό E ⁰ (V)
Ru ²⁺ + 2e ⁻ ⇌ Ru	+0,45
RuCl ₅ ⁻ + 2e ⁻ ⇌ Ru ²⁺ + 5Cl ⁻	+0,3
RuCl ₃ + 3e ⁻ ⇌ Ru + 3Cl ⁻	+0,68
RuO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ⇌ Ru + 2H ₂ O	+0,79
RuO ₄ ⁻ + e ⁻ ⇌ RuO ₄ ²⁻	+0,59
RuO ₄ + e ⁻ ⇌ RuO ₄ ⁻	+1,00

Όπως φαίνεται σ' αυτούς τους πίνακες, το κανονικό δυναμικό αναγωγής της αντίδρασης: Ru²⁺ + 2e⁻ ⇌ Ru είναι θετικό (+ 0,45 V) πράγμα που σημαίνει ότι το μέταλλο βρίσκεται μετά το υδρογόνο στην ηλεκτροχημική σειρά των μετάλλων, δεν αντικαθιστά το υδρογόνο στις ενώσεις του (π.χ οξέα) και χημικώς θεωρείται ευγενές μέταλλο.

Το ρουθίνιο είναι αδρανές μέταλλο, δεν αντιδρά με το νερό σε φυσιολογικές συνθήκες και δε μαυρίζει εξωτερικά σε κανονικές θερμοκρασίες. Οξειδώνεται όμως περίπου στους 800 °C επικαλυπτόμενο από το πτητικό οξείδιο του Ru(VIII), RuO₄.^[23] Έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρονίων, μεγάλη οξύτητα κατά Λιούις και χαμηλά δυναμικά οξειδοαναγωγής.

Μικρές ποσότητες ρουθινίου μπορούν να αυξήσουν τη σκληρότητα του λευκόχρυσου και του παλλαδίου ενώ η αντίσταση στη διάβρωση κραμάτων τιτανίου από υδροχλωρικό οξύ αυξάνεται^[23] πολλές φορές με την προσθήκη ρουθινίου σε ποσοστό 0,15 % - 0,25 % w/w.

Επίδραση οξέων

Το ρουθίνιο είναι εντελώς απρόσβλητο από όλα τα οξέα, πυκνά ή αραιά, οργανικά ή ανόργανα ακόμη και από το βασιλικό νερό. Με προσθήκη χλωρικού καλίου (KClO₃) σε θερμό βασιλικό νερό που περιέχει και σκόνη ρουθινίου, παρατηρείται οξείδωση του μετάλλου συνοδευόμενη από έκρηξη.^[23]

Επίδραση βάσεων

Το ρουθίνιο διαβρώνεται μόνο από λιωμένο NaOH στους 350 °C: Παρατηρείται, επιφανειακή απώλεια 7,20 mg Ru/cm² την ημέρα που είναι και η μεγαλύτερη μεταξύ των PGM.^[20]

Επίδραση αλάτων

Κατά την επίδραση διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl), παρατηρείται πλήρης διάβρωση όταν η θερμοκρασία φθάσει τους 100 °C.

Ατομικός αριθμός (Z)	Χημικό στοιχείο	Ηλεκτρόνια ανά στιβάδα
26	Σίδηρος	2, 8, 14, 2
44	Ρουθίνιο	2, 8, 18, 15, 1
76	Όσμιο	2, 8, 18, 32, 14, 2
108	Χάσιο	2, 8, 18, 32, 32, 14, 2

Ηλεκτρονιακή διαμόρφωση Ru

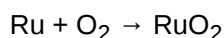
Τήγμα υπεροξειδίου του νατρίου (Na_2O_2) προκαλεί επιφανειακή απώλεια 336 mg Ru/cm^2 την ημέρα στους 350°C που είναι και η μεγαλύτερη μεταξύ των PGM.

Από την επίδραση λιωμένου κυανιούχου καλίου (KCN) στους 700°C παρατηρείται, επιφανειακή απώλεια $16,80 \text{ mg Ru/cm}^2$ την ημέρα, ενώ από την επίδραση λιωμένου ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) στους 920°C παρατηρείται επίστρωση μάζας $8,90 \text{ mg/cm}^2$ την ημέρα.

Τήγμα όξινου θεικού καλίου (KHSO_4) προκαλεί επιφανειακή απώλεια $5,05 \text{ mg Ru/cm}^2$ την ημέρα στους 440°C .^[20]

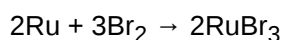
Αντιδράσεις του ρουθηνίου με το οξυγόνο

Η θέρμανση του Ru με O_2 δίνει γκρίζο-μαύρο στερεό οξείδιο του ρουθηνίου(IV),^[24] RuO_2 :

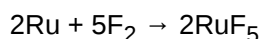


Αντιδράσεις του ρουθηνίου με τα αλογόνα

Το ρουθίνιο σχηματίζει όλη τη σειρά των τριαλογονιδίων αλλά μόνο φθορίδια στους μεγάλους αριθμούς οξειδωσης. Από τα αλογονίδια αυτά, λίγα σχηματίζονται με απευθείας αντίδραση Ru με αλογόνο^[24]: Το καφε-μαύρο βρωμιούχο ρουθίνιο(III), RuBr_3 , σχηματίζεται με αντίδραση του Ru με Br_2 στους 450°C και στις 20 Atm .^[25]



Το πράσινο φθοριούχο ρουθίνιο(V), RuF_5 , παράγεται με αντίδραση στο κενό του F_2 και του Ru στους 297°C .^[25]



Το ένυδρο χλωριούχο ρουθίνιο(III), $\text{RuCl}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, το μαύρο ιωδιούχο ρουθίνιο(III), RuI_3 , το φθοριούχο ρουθίνιο (IV) και (VI), RuF_4 και RuF_6 αντίστοιχα καθώς και το χλωριούχο ρουθίνιο(IV), RuCl_4 , παράγονται από άλλες ενώσεις του Ru.^[24]

Ισότοπα

Η φυσικές εμφανίσεις του ρουθηνίου αποτελούνται από 7 σταθερά ισότοπα ενώ έχουν ανακαλυφθεί και 34 ακόμη ραδιοϊσότοπα από τα οποία αυτά με το μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής (δηλ. ο χρόνος που απαιτείται για να απομείνουν οι μισοί από τους αρχικούς πυρήνες) είναι το ^{106}Ru , το ^{103}Ru και το ^{97}Ru . Έχουν περιγραφεί άλλα 17 ραδιοϊσότοπα τα περισσότερα από τα οποία έχουν ημιζωές μικρότερες από 5 λεπτά, εκτός από το ^{95}Ru και το ^{105}Ru . Ο κύριος τρόπος διάσπασης που οδηγεί στο πλέον άφθονο ισότοπο, ^{102}Ru , είναι η β^- -διάσπαση του ^{102}Tc και η β^+ -διάσπαση του ^{102}Rh .

Περιβαλλοντικοί κίνδυνοι - Βιολογικός ρόλος - Προφυλάξεις

Το ρουθίνιο δεν διαδραματίζει βιολογικό ρόλο, δημιουργεί όμως έντονα στίγματα στο ανθρώπινο δέρμα, πιθανόν να είναι καρκινογόνο και βιο-συσσωρεύεται στα οστά.^[26] Δεν υπάρχει κανένα στοιχείο όσον αφορά στην τοξικότητα του ρουθηνίου στα τρόφιμα, δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις του είναι εξαιρετικά χαμηλές.^[27]

Οι ενώσεις του ρουθηνίου συναντώνται σχετικά σπάνια από τους περισσότερους ανθρώπους, επειδή δε γίνεται μεγάλη χρήση τους. Το οξείδιο του ρουθηνίου (VIII), RuO_4 , είναι πτητική ένωση, πολύ τοξική και μπορεί να προκαλέσει εκρήξεις, αν έρθει σε επαφή με εύφλεκτα υλικά.

Ενώσεις του ρουθηνίου

Το ρουθίνιο και το όσμιο έχουν το μεγαλύτερο εύρος αριθμών οξειδωσης από όλα τα χημικά στοιχεία: από -2 έως και $+8$. Οι συνηθέστερες βαθμίδες οξειδωσής του Ru είναι $+2$, $+3$, $+4$. Οι χημικές του ενώσεις έχουν παραπλήσιες ιδιότητες με τις αντίστοιχες του οσμίου.

Χρώματα ορισμένων ενώσεων του ρουθηνίου^[24]

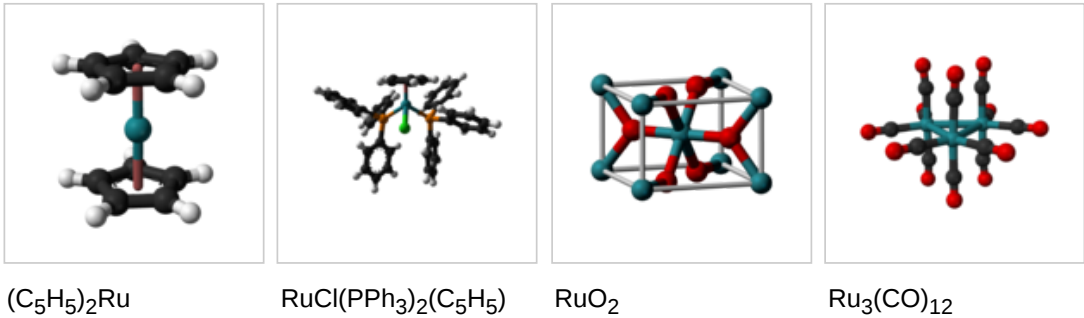
Ένωση	Χρώμα
RuCl ₂	Καφέ
RuI ₂	Μπλε
RuF ₄	Ροζ
RuBr ₃	Μαύρο
RuF ₃	Καφέ σκούρο
RuF ₅	Πράσινο

Οι περισσότερες ενώσεις του ρουθηνίου (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.^[22]

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

Ενώσεις του Ru ⁺³		Ενώσεις του Ru ⁺⁴	
Όνομα ένωσης	Χημικός τύπος	Όνομα ένωσης	Χημικός τύπος
Χλωριούχο ρουθίνιο(III)	RuCl ₃	Οξειδίο του ρουθηνίου(IV)	RuO ₂
Ιωδιούχο ρουθίνιο(III)	RuI ₃	Φθοριούχο ρουθίνιο(IV)	RuF ₄
Βρωμιούχο ρουθίνιο(III)	RuBr ₃	Χλωριούχο ρουθίνιο(IV)	RuCl ₄
Φθοριούχο ρουθίνιο(III)	RuF ₃	Θειούχο ρουθίνιο(IV)	RuS ₂
		Τελλουριούχο ρουθίνιο(IV)	RuTe ₂
		Σεληνιούχο ρουθίνιο(IV)	RuSe ₂

Στερεοχημικά μοντέλα κρυστάλλων ορισμένων ενώσεων του ρουθηνίου



Μερικές από τις ενδιαφέρουσες δυαδικές ενώσεις του ρουθηνίου είναι:

- **Χλωριούχο ρουθίνιο(III)**, RuCl₃. Απαντά σε δύο φάσεις, την α- (καφέ στερεό) και τη β- (μαύροι κρύσταλλοι). Το εμπορικό προϊόν «ένυδρο χλωριούχο ρουθίνιο(III)», RuCl₃·xH₂O (όπου συνήθως x=3) αποτελεί πολύ σημαντική ένωση του ρουθηνίου γιατί είναι η πρώτη ύλη για την παρασκευή όλων των συμπλόκων-καταλυτών με Ru(III) και Ru(II).^[25]
- **Οξείδια του ρουθηνίου**. Γνωστότερο είναι το οξείδιο του Ru(VIII), RuO₄. Το κίτρινο αυτό οξείδιο περιέχει το ρουθίνιο στο μέγιστο αριθμό οξειδωσης (+8) και επειδή είναι ευαίσθητο στο φως και θερμοδυναμικά ασταθές, μπορεί εύκολα να εκραγεί. Είναι πολύ τοξικό και αποτελεί ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο, αντιδρά δε βίαια με οργανικές ενώσεις.^[25] Το οξείδιο του Ru(III), Ru₂O₃, δεν υπάρχει.

Αριθμοί οξειδωσης του Ru σε ορισμένες ενώσεις του

Αριθμός οξειδωσης	Ένωση
-2	Na ₂ [Ru(CO) ₄]
0	Ru(CO) ₅
+1	RuF
+2	RuCl ₂
+3	RuCl ₃
+4	RuO ₂
+5	[RuF ₅] ₄
+6	K ₂ RuO ₄
+7	KRuO ₄
+8	RuO ₄

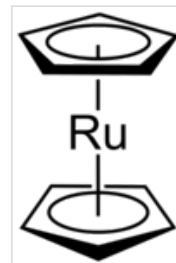
Σύμπλοκα του ρουθηνίου

Το ρουθίνιο είναι μέταλλο πολλαπλών χρήσεων και μπορεί να δημιουργήσει εύκολα δεσμούς C-Ru. Οι ενώσεις αυτές αντιδρούν ταχύτερα από τις ανάλογες ενώσεις του οσμίου. Τα σύμπλοκα του Ru είναι έγχρωμα, όπως άλλωστε όλα σχεδόν τα σύμπλοκα των μεταβατικών στοιχείων και πολλές φορές περιέχουν άτομα Ru με διαφορετικούς αριθμούς οξειδωσης. Η καταλυτική τους δράση έγινε ευρέως γνωστή τις δεκαετίες του 1960 και 1970. Μέχρι τότε,

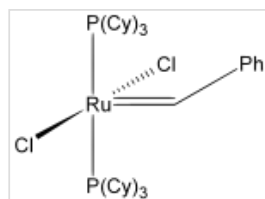
ιδιαίτερα στις αντιδράσεις ολεφινικής μετάθεσης, χρησιμοποιούνταν σύμπλοκα του τιτανίου, του βολφραμίου και του μολυβδαινίου. Τα σύμπλοκα του Ru αποδείχθηκε ότι είναι δραστικότεροι καταλύτες από τις ενώσεις των προηγούμενων μετάλλων.^[28]

Ορισμένα ενδιαφέροντα σύμπλοκα του ρουθηνίου είναι:

- **Μπλε ρουθίνιο (Ruthenium blues)**. Είναι διάλυμα μπλε χρώματος που το περιέγραψε πρώτος ο Claus το 1846.^[24] Περιέχει κυρίως το σύμπλοκο τύπου cluster^[Σημ. 3] $(\text{Cl}_3\text{Ru}(\mu\text{-Cl})_3\text{Ru}(\mu\text{-Cl})_3\text{RuCl}_3)^{4-}$ όπου το ρουθίνιο έχει αριθμό οξειδωσης μεταξύ 2 και 2,5. Το μπλε ρουθίνιο καταλύει την ισομερείωση και υδρογόνωση των αλκενίων και χρησιμοποιείται πάρα πολύ στη Συνθετική Οργανική Χημεία.
- **Κόκκινο ρουθίνιο (Ruthenium red)**, $[\text{Ru}_3\text{O}_2(\text{NH}_3)_{14}]\text{Cl}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.^[24] Είναι καφέ διαμαγνητικό σύμπλοκο, που περιέχει δύο Ru^{3+} και ένα Ru^{+4} . Με οξείδωση μετατρέπεται στο **καφέ ρουθίνιο**, $[\text{Ru}_3\text{O}_2(\text{NH}_3)_{14}]^{7+}$. Τα δύο αυτά σύμπλοκα περιέχουν υπεροξειδική γέφυρα, $-\text{O}-\text{O}-$.
- **Μεταλλοκαρβονύλια^[Σημ. 4] του ρουθηνίου**. Έχουν μελετηθεί, το πεντακαρβονυλο-ρουθίνιο, $\text{Ru}(\text{CO})_5$, το εννεακαρβονυλο-ρουθίνιο, $\text{Ru}_2(\text{CO})_9$ και το δωδεκακαρβονυλο-ρουθίνιο $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ ^[29] που χρησιμοποιείται για την παρασκευή καταλυτικών νανοσωματιδίων και είναι πρόδρομη ένωση συμπλόκων του Ru που περιέχουν πορφυρίνη.^[24]
- **Ρουθηνοκέννιο**, $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Ru}$. Είναι σύμπλοκο sandwich^[Σημ. 5] και χρησιμοποιείται ως φωτοεκκινήτης σε αντιδράσεις πολυμερισμού. Παρασκευάστηκε για πρώτη φορά το 1952 από τον Ουίλκινσον.^[Σημ. 6]
- **Σύμπλοκο κατιόν Creutz^[Σημ. 7]-Taube^[Σημ. 8]**, $[(\text{NH}_3)_5\text{Ru}(\text{pyrazine})\text{Ru}(\text{NH}_3)_5]^{n+}$ με $n=5$. Ανήκει σε μια ομάδα κατιόντων μαζί με αυτά που έχουν $n = 4$ (οπότε και τα δύο άτομα Ru είναι ισότιμα με αριθμό οξειδωσης = +2) και $n = 6$ (οπότε και τα δύο άτομα Ru είναι ισότιμα με αριθμό οξειδωσης = +3). Το κατιόν Creutz-Taube, περιέχει το ρουθίνιο με αριθμούς οξειδωσης +2 και +3. Τα δύο Ru αποδείχθηκε ότι είναι χημικώς ισοδύναμα.^[25]



Το σύμπλοκο sandwich ρουθηνοκέννιο



Καταλύτης Grubbs 1ης γενιάς

- Οι **καταλύτες Γκραμπς (Grubbs)** 1ης και 2ης γενιάς είναι πολύ σπουδαίοι οργανομεταλλικοί καταλύτες και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ολεφινική μετάθεση.^[25] Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ο Μπομπ Γκραμπς (Bob Grubbs),^[Σημ. 9] ανέπτυξε μια σειρά από καταλύτες Ru που διαφέρουν από τις προηγούμενες γενιές, με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Πρώτον, το μέταλλο δεν είναι στην υψηλότερη οξειδωτική κατάσταση και υποστηρίζεται από ligands φωσφίνης (με γενική δομή PR_3 όπου R = αλκύλιο, αρύλιο, H, αλογόνο). Δεύτερον, οι καταλύτες έχουν τόσο ανεκτική λειτουργικότητα ώστε ορισμένοι από αυτούς μπορούν και λειτουργούν στο νερό. Η έρευνα πάνω στους καταλύτες αυτούς βρίσκεται σε εξέλιξη και οι προοπτικές είναι πολύ ευοίωνες.
- **Νιτροζυλοσύμπλοκα**. Περιέχουν το NO ως ligand.^[29] Το ρουθίνιο πιθανόν να σχηματίζει τα περισσότερα νιτροζυλοσύμπλοκα από όλα τα μέταλλα. Έχουν τη δομή $\text{Ru}(\text{NO})\text{L}_5$ (όπου το L_5 μπορεί να είναι μια μεγάλη ποικιλία συνδυασμών ουδέτερων μορίων και ιόντων) και αρκετά από αυτά είναι οκταεδρικά.
- **Χλωριούχο πεντααμμωνο (διαζωτο) ρουθίνιο (II)**, $[\text{Ru}(\text{N}_2)(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$.^[15] Είναι το πρώτο σταθερό σύμπλοκο που παρασκευάστηκε το 1965 με ligand μόριο αζώτου, N_2 .^[29] Τα σύμπλοκα με N_2 αντικαθιστούν εύκολα και ποσοτικά ένα μόριο N_2 με Cl_2 ή αμμωνία, NH_3 . Η μελέτη των συμπλόκων αυτών ίσως αποτελέσει το κλειδί για την επίλυση του προβλήματος της δέσμευσης του ατμοσφαιρικού N_2 από τα φυτά και της μετατροπής του σε NH_3 .^[29] Γνωστά είναι επίσης και διπυρηνικά σύμπλοκα του Ru όπου το N_2 αποτελεί γέφυρα όπως π.χ το $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_5\text{-N=N-Ru}(\text{NH}_3)_5]^{4+}$.

Χρήσεις - Εφαρμογές

Τεχνολογία

Η κυριότερη χρήση του ρουθηνίου και των ενώσεών του είναι στην κατάλυση. Σχετικά πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι οι οργανομεταλλικές ενώσεις του ρουθηνίου (κυρίως τα σύμπλοκα Grubbs), αποτελούν υψηλής απόδοσης καταλύτες που καταλύουν ολεφινικές μεταθέσεις, οργανικές αντιδράσεις που βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στην Ανόργανη, Οργανική,

Το ρουθίνιο, λόγω του υψηλού σημείου τήξης του δεν μπορεί να υποβληθεί σε χύτευση, αλλά και από το γεγονός ότι είναι πολύ εύθραυστο, ακόμη και σε κατάσταση λευκοπύρωσης, δυσχεραίνεται η διαμόρφωσή του σε παραγωγή ελασμάτων ή συρμάτων. Έτσι η βιομηχανική του χρήση περιορίζεται σε προσμίξεις όπου και αποτελεί ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό σκληρυντικό πρόσθετο σε κράματα με λευκόχρυσο και παλλάδιο, ή με άλλα μέταλλα της οικογένειας αυτών.

Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές επαφές και πρέπει να είναι ανθεκτικά σε σοβαρές φθορές. Επίσης, επειδή είναι κατά πολύ φθηνότερο από το ρόδιο και έχει παραπλήσιες ιδιότητες, το αντικαθιστά σε διάφορες ηλεκτρικές εφαρμογές. Στις ηλεκτρολογικές εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας κατευθύνεται πάνω από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής Ru. Όταν προστίθεται 0,1 % ρουθίνιο στο τιτάνιο, η αντοχή του τελευταίου βελτιώνεται στο εκατονταπλάσιο. Τέτοια κράματα Ti-Ru χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν χλωριούχα αλκάλια, αλογόνα, καυτά οργανικά και ανόργανα οξέα και γενικά σε εξαιρετικά διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Το ρουθίνιο επίσης χρησιμοποιείται στην κατασκευή προηγμένων μονοκρυσταλλικών υπερκράματων υψηλής θερμοκρασίας, τα οποία χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων και στα πτερύγια των κινητήρων των αεροσκαφών. Αρκετά τέτοια υπερκράματα περιγράφονται στη βιβλιογραφία όπως το EPM-102 (με 3 % Ru) και το TMS-162 (με 6 % Ru).^[31]

Ορισμένα σύμπλοκα του ρουθινίου απορροφούν το φως σε όλο το ορατό φάσμα και αποτελούν αντικείμενο σύγχρονης μελέτης για τις δυνατότητές τους, στις τεχνολογίες αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.^[32]

Διακόσμηση

Η χρήση του ρουθινίου στην κατασκευή κοσμημάτων, περιορίζεται στη σταθεροποίηση και σκλήρυνση του χρυσού, ενώ για αντίσταση στη φθορά, οι άκρες των πενών συχνά κατασκευάζονται από κράμα που περιέχει ρουθίνιο. Για παράδειγμα, από το 1944 και μετά, η διάσημη πένα «Parker 51» ήταν εφοδιασμένη με τη μύτη «RU» που περιείχε χρυσό 14 καρατίων με 96,2% ρουθίνιο και 3,8% ιρίδιο.^[33]

Ιατρική - Βιολογία

Τα τελευταία δέκα χρόνια διαπιστώθηκε ότι τα οργανομεταλλικά σύμπλοκα του ρουθινίου είναι περισσότερο αποτελεσματικά στην καταπολέμηση των όγκων από τα παραδοσιακά σύμπλοκα του λευκόχρυσου και μια νέα ομάδα αντικαρκινικών φαρμάκων, όπως τα NAMI-A και KP1019, βρίσκεται τώρα στο στάδιο των κλινικών δοκιμών.^[34] Το «κόκκινο ρουθίνιο», χρησιμοποιείται στη βιολογία για τη χρώση και την καλύτερη παρατήρηση πολυανιονικών μορίων, όπως η πηκτίνη και τα νουκλεϊνικά οξέα, στο κοινό μικροσκόπιο και από το 1961 και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.^[35]

Σημειώσεις

1. Το Becquerel (Bq) είναι μονάδα ραδιενέργειας στο SI. 1 Bq = 1 μεταστοιχείωση/s. 1 MBq = 10⁶ Bq
2. Οι τιμές που αναφέρονται είναι για ραφινρισμένο μέταλλο που δεν έχει μορφοποιηθεί
3. Λέγονται και βοτρυοειδή σύμπλοκα. Έχουν τρία ή περισσότερα άτομα μετάλλου ενωμένα μεταξύ τους
4. Είναι οι ενώσεις των μεταβατικών στοιχείων με CO
5. Οι δύο δακτύλιοι κυκλοπενταδιένιου είναι παράλληλοι και ανάμεσά τους βρίσκεται το άτομο του μετάλλου με το οποίο συναρμόζονται τα δύο ligands (κυκλοπενταδιένια)
6. Sir Geoffrey Wilkinson (1921-1996). Άγγλος χημικός. Πήρε το Βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1973, μαζί με τον Γερμανό Ernst Otto Fischer, για «για την πρωτοποριακή εργασία τους, η οποία πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητα, στη χημεία των οργανομεταλλικών ενώσεων, που ονομάζονται ενώσεις σάντουιτς»
7. Carol Creutz. Αμερικανίδα χημικός που παρασκεύασε πρώτη το σύμπλοκο Creutz-Taube
8. Henry Taube (1915-2005). Αμερικανός χημικός. Πήρε το Βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1983 για την «εργασία του στους μηχανισμούς των αντιδράσεων μεταφοράς ηλεκτρονίων, ιδιαίτερα σε σύμπλοκα μετάλλων»

9. Robert H. Grubbs (1942-). Αμερικανός χημικός. Πήρε το Βραβείο Νόμπελ Χημείας το 2005, μαζί με τον Γάλλο Yves Chauvin και τον Αμερικανό Richard R. Schrock, για «την ανάπτυξη της μεθόδου της μετάθεσης στην οργανική σύνθεση»

Παραπομπές

1. WolframAlpha : Ruthenium (<http://www.wolframalpha.com/input/?i=ruthenium>)
2. ρουθήνιο (http://www.greek-language.gr/greekLang/modern_greek/tools/lexica/search.html?lq=ρουθήνιο+&dq=) - Λεξικό της κοινής νεοελληνικής
3. Mary Elvira Weeks (1933). *Discovery of the Elements* (<http://books.google.gr/books?id=SJK9BPdNWcC&pg=PA99&dq=The+discovery+of+the+elements.+VIII.+The+platinum+metals&cd=1#v=onepage&q=The%20discovery%20of%20the%20elements.%20VIII.%20The%20platinum%20metals&f=false>). Easton. σελίδες 99–116.
4. Raub, Christoph J. (2004). *The Minting of Platinum Roubles. Part I: History and Current Investigations* (<http://web.archive.org/web/20090105232443/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/48-2-066-069>). 48, σελ. 66–69. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/48-2-066-069>) στις 2009-01-05. <https://web.archive.org/web/20090105232443/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/48-2-066-069>. Ανακτήθηκε στις 2010-05-10.
5. Robert E. Krebs (2006). *The history and use of our earth's chemical elements: a reference guide* (<http://books.google.gr/books?id=yb9xTj72vNAC&pg=PA134&dq=The+Discovery+of+Ruthenium&cd=2#v=onepage&q=The%20Discovery%20of%20Ruthenium&f=false>). Greenwood Press. σελ. 134.
6. «New Metals in the Uralian Platina» (<http://books.google.com/books?id=x57C3yhRPUAC&pg=PA391>). *The Philosophical Magazine* 2: 391–392. 1827. <http://books.google.com/books?id=x57C3yhRPUAC&pg=PA391>.
7. Pitchkov, V. N. (1996). «The Discovery of Ruthenium» (<https://web.archive.org/web/20110609195008/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v40-i4-181-188>). *Platinum Metals Review* 40 (4): 181–188. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v40-i4-181-188>) στις 2011-06-09. <https://web.archive.org/web/20110609195008/http://www.platinummetalsreview.com/dynamic/article/view/pmr-v40-i4-181-188>. Ανακτήθηκε στις 2010-05-10.
8. Emsley, J. (2003). «Ruthenium». *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements* (<https://archive.org/details/naturesbuildingb0000emsl>). Oxford, England, UK: Oxford University Press. σελίδες 368 (<https://archive.org/details/naturesbuildingb0000emsl/page/368>)–370.
9. webelements: Ruthenium (<http://www.webelements.com/ruthenium/>)
10. Egon Wiberg, Nils Wiberg, Arnold Frederick Holleman (2001). *Inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=vEwj1WZKThEC&pg=PR28&dq=ruthenium+occurrence&lr=&as_brr=0&cd=23#v=onepage&q=ruthenium%20&f=false). Academic Press. σελίδες 1458 – 1471.
11. Hartman, H. L.; Britton, S. G., επιμ. (1992). *SME mining engineering handbook* (<http://books.google.com/books?id=Wm6QMRaX9C4C&pg=PA69>). Littleton, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. σελ. 69. ISBN 9780873351003.
12. «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.
13. SAVE Tangle Lakes (<http://www.savetanglelakes.org/docs/PGMuse.pdf>)
14. George, Micheal W. «2006 Minerals Yearbook: Platinum-Group Metals» (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/platinum/myb1-2006-plati.pdf>) (PDF). United States Geological Survey USGS.
15. Μανουσάκης Γ.Ε. (1983). *Γενική και Ανόργανη Χημεία*. τόμος 2. Εκδοτικός Οίκος Αφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη. σελίδες 471–487.
16. Bush, R. P. (1991). «Recovery of Platinum Group Metals from High Level Radioactive Waste» (<https://web.archive.org/web/20150924074421/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v35-i4-202-208.pdf>). *Platinum Metals Review* 35 (4): 202–208. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v35-i4-202-208.pdf>) στις 2015-09-24. <https://web.archive.org/web/20150924074421/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/pmr-v35-i4-202-208.pdf>. Ανακτήθηκε στις 2010-04-21.

17. Kolarik Zdenek, Renard Edouard V. (2005). «Potential Applications of Fission Platinoids in Industry» (<https://web.archive.org/web/20150924074216/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/79-90-pmr-apr05.pdf>). *Platinum Metals Review* **49**: 79. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.platinummetalsreview.com/pdf/79-90-pmr-apr05.pdf>) στις 2015-09-24. <https://web.archive.org/web/20150924074216/http://www.platinummetalsreview.com/pdf/79-90-pmr-apr05.pdf>. Ανακτήθηκε στις 2010-05-11.
18. PLATINUM today : Prices Charts (<http://www.platinum.matthey.com/pgm-prices/price-charts/>)
19. C.R.Hammond : THE ELEMENTS (http://www-d0.fnal.gov/hardware/cal/lvps_info/engineering/elements.pdf)
20. «The PGM Database» (<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 Μαΐου 2010.
21. WolframAlpha : PGM conductivity (<http://www.wolframalpha.com/input/?i=Ru,+Pt,+Os,+Ir,+Rh,+Pd+conductivity>)
22. Μπαζάκης Ι.Α. *Γενική Χημεία*. Αθήνα.
23. François Cardarelli (2008). *Materials Handbook: A Concise Desktop Reference* (http://books.google.gr/books?id=ArsfQZig_9AC&pg=PA409&dq=history+of+ruthenium&cd=8#v=onepage&q=history%20of%20ruthenium&f=false). Springer. σελ. 409.
24. S.A. Cotton (1996). *Chemistry of precious metals*. Blackie Academic & Professional. σελίδες 2–75.
25. Catherine E. Housecroft, A. G. Sharpe (2005). *Inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=_1gFM51qpAMC&pg=PA697&dq=Chemistry+of+precious+metals&cd=4#v=onepage&q=ruthenium&f=false). Pearson Education. σελίδες 671 – 679.
26. Inhalation of radionuclides and carcinogenesis (https://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=4142243)
27. Food Info : Πουθύνιο (<http://www.food-info.net/gr/metal/ruthenium.htm>)
28. Shun'ichi Murahashi (2004). *Ruthenium in organic synthesis* (<http://books.google.gr/books?id=bgaw-z0aNEAC&pg=PA154&dq=history+of+ruthenium&cd=4#v=onepage&q=history%20of%20ruthenium&f=false>). Wiley - VCH. σελίδες 154 – 157.
29. Ιωάννης Α. Τοσσίδης (1986). *Χημεία ενώσεων συναρμογής*. Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. σελίδες 49 – 79.
30. *PLATINUM 2008*. Published in May 2008 by Johnson Matthey.
31. Roger C. Reed (2006). *The superalloys: fundamentals and applications* (<http://books.google.gr/books?id=SIUGcd4a-EkC&pg=PA20&dq=EPM-102&cd=5#v=onepage&q=ruthenium&f=false>). Cambridge University Press. σελίδες 20 – 26.
32. Kuang, Daibin; Ito, Seigo; Wenger, Bernard; Klein, Cedric; Moser, Jacques-E; Humphry-Baker, Robin; Zakeeruddin, Shaik M.; Grätzel, Michael (2006). «High Molar Extinction Coefficient Heteroleptic Ruthenium Complexes for Thin Film Dye-Sensitized Solar Cells». *Journal of the American Chemical Society* **128** (12): 4146. doi:10.1021/ja058540p (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fja058540p>). PMID 16551124 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16551124>).
33. 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 2010-05-12.
34. James C. Dabrowiak (2009). *Metals in Medicine* (http://books.google.gr/books?id=tBz4PIWW_8YC&pg=PA71&dq=Synthetic+metallomolecules+as+agents+for+the+control+of+DNA+structure&cd=1#v=onepage&q=NA MI-A&f=false). John Wiley & Sons, Ltd. σελίδες 149 – 167.
35. Hayat, M. A. (1993). *Stains and cytochemical methods* (<http://books.google.com/books?id=oGj7MLioFIQC&pg=PA305>). New York, NY: Plenum Press. σελίδες 305–310.

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.
- Dabrowiak, James C. (2009). *Metals in Medicine*. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-68197-8.

- 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.
- Housecroft, Catherine E.· Sharpe, Alan G. (2005). *Inorganic chemistry* (2η έκδοση). Prentice Hall. ISBN 978-0-1303-9913-7.
- Krebs, R. E. (2006). *The history and use of our earth's chemical elements: a reference guide* (<https://archive.org/details/historyuseofoure0000kreb>). Greenwood Press. ISBN 978-0-4708-6403-6.
- Mackay, Ken M.· Mackay, Rosemary Ann· Henderson, W. (2002). *Introduction to modern inorganic chemistry* (http://books.google.gr/books?id=STxHXRR4VKIC&pg=PR13&lpg=PR13&dq=%22Introduction+to+modern+inorganic+chemistry%22&source=bl&ots=EF4qHL8_-&sig=59HPZLdZGI94Cb8krZBzperMzug&hl=el&sa=X&ei=oFvcUpbhCo3zyAP1s4HgBw&ved=0CGkQ6AEwBw#v=onepage&q&f=false) (6η έκδοση). CRC Press. ISBN 978-0-7487-6420-4. Ανακτήθηκε στις 20 Ιανουαρίου 2014.
- 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=~!uoilibrary&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=ALTITLE>) (4η έκδοση). Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. ISBN 0-1364-3669-2. Ανακτήθηκε στις 20 Ιανουαρίου 2014. (μετάφραση: Σακαρέλλος, Κωνσταντίνος; Πηλίδης, Γεώργιος Α.; Γεροθανάσης, Ιωάννης Π.; κ.ά.).
- Murahashi Shun'ichi (2004). *Ruthenium in Organic Synthesis* (<https://archive.org/details/rutheniuminorgan000unse>) (2η έκδοση). Wiley - VCH. ISBN 3-527-30692-7.
- Pauling, Linus (1988). *General Chemistry* (https://archive.org/details/generalchemistry00paul_0) (3η έκδοση). Dover Publications. ISBN 978-04866-5622-9.
- Reed, Roger C. (2006). *The Superalloys: Fundamentals and Applications* (<https://archive.org/details/superalloysfunda0000reed>). Cambridge University Press. ISBN 0-5218-5904-2.
- Weeks, Mary Elvira (1933). *Discovery of the elements*. Journal of Chemical Education. ISBN 0-766-13872-0.
- Wiberg, Egon (2001). *Inorganic chemistry*. San Diego, California: Academic Press. ISBN 0-123-52651-5. OCLC 833903147 (<https://www.worldcat.org/oclc/833903147>). Unknown parameter `|coauthors=` ignored (`|author=` suggested) (βοήθεια)

Δείτε επίσης

- Λευκόχρυσος
- Ιρίδιο
- Ρόδιο
- Όσμιο
- Παλλάδιο
- Νιόβιο
- Ρήνιο
- Ίνδιο
- Θάλλιο

Εξωτερικοί σύνδεσμοι

- Elementymology & Elements Multidict : Ruthenium (<http://elements.vanderkrogt.net/element.php?sym=Ru>)
- Mineral Species containing Ruthenium (Ru) (<http://www.webmineral.com/chem/Chem-Ru.shtml>)
- The periodic table of videos (<http://www.periodicvideos.com/videos/044.htm>)
- Ruthenium images and pictures (<http://www.periodictable.com/Elements/044/index.html>)
- Olefin metathesis : Big-deal reaction (<http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8051/8051olefin.html>)
- Rob Toreki's Organometallic HyperTextBook : Olefin metathesis (<http://www.ilpi.com/organomet/olmetathesis.shtml>)
- The Nobel Prize in Chemistry 2005 (http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2005/index.html)

