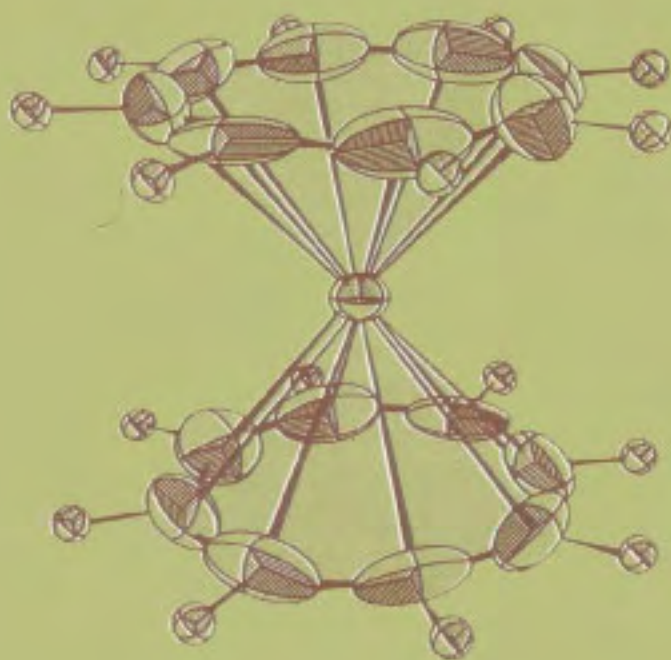


অবস্থান্তর
এবং
অন্তঃঅবস্থান্তর
মৌলসমূহের রসায়ন

কালিপদ কুন্ডু



অবস্থান্তর এবং অন্তঃঅবস্থান্তর মৌলসমূহের রসায়ন
[Chemistry of the Transition and Inner Transition Elements]

ড. কালিপদ কুণ্ডু
ডি. ফিল. (সাসেব্র)
সি. কেম, এফ. আর. এস. সি
প্রফেসর, রসায়ন বিভাগ
জাহাঙ্গীরনগর বিশ্ববিদ্যালয়
সাভার, ঢাকা



বাংলা একাডেমী ঢাকা

সিইসি-৬

প্রথম প্রকাশ
আষাঢ় ১৪০৯
জুন ২০০২

বাএ (২০০১-২০০২ পাঠ্যপুস্তক : ভৌ ও প্র ৩) ৪২৭৯

মুদ্রণ সংখ্যা ১২৫০

পাণ্ডুলিপি প্রণয়ন ও মুদ্রণ তত্ত্বাবধান
ভৌতবিজ্ঞান ও প্রকৌশল উপবিভাগ

ভৌ ও প্র ২১৫

প্রকাশক
সুব্রত বিকাশ বড়ুয়া
পরিচালক
পাঠ্যপুস্তক বিভাগ
বাংলা একাডেমী
ঢাকা ১০০০

মুদ্রক
মোঃ হামিদুর রহমান
ব্যবস্থাপক
বাংলা একাডেমী প্রেস
ঢাকা ১০০০

প্রচ্ছদ
মামুন কায়সার

মূল্য : ৯০.০০

BANSDOC Library
Accession No. 8022
10.6.04
M. K.

ABASTHANTAR EBONG ANTAABASTHANTAR MAULOSAMUHER RASAYAN
(Chemistry of the Transition and Inner Transition Elements) by Dr. Kalipada
Kundu. Published by Subrata Bikash Barua, Director, Textbook Division, Bangla
Academy, Dhaka, Bangladesh. First edition, June 2002. Price : Taka 90.00

ISBN 984-07-4288-4

উৎসর্গ

বাংলাদেশের স্বাধীনতা সংগ্রামে
অমর শহীদদের পুণ্য স্মৃতির উদ্দেশে



ভূমিকা

শিক্ষার সর্বোত্তম মাধ্যম মাতৃভাষা। আমাদের মাতৃভাষা বাংলা। কিন্তু উচ্চশিক্ষা স্তরে শিক্ষা গ্রহণের জন্য বাংলা ভাষায় যথেষ্ট পাঠ্যপুস্তক এখন পর্যন্ত রচিত হয়নি। এ অভাব পূরণের জন্য বাংলা একাডেমী কর্তৃপক্ষ স্বাধীনতার পর থেকে প্রশংসনীয় উদ্যোগ গ্রহণ করেছেন। বাংলা একাডেমীর সহযোগিতায় স্নাতক (সম্মান) এবং স্নাতকোত্তর পর্যায়ে অজৈব রসায়নের উপর আমার লেখা সাতটি পাঠ্যপুস্তক যেমন, (১) পারমাণবিক গঠন এবং পর্যায় সারণি, (২) রাসায়নিক বন্ধন এবং অণুর আকৃতি, (৩) সন্নিবেশ রসায়ন, (৪) জারণ-বিজারণ এবং এসিড-বেস বিক্রিয়া, (৫) অজলীয় দ্রাবকসমূহ, (৬) অজৈব পলিমার রসায়ন এবং (৭) প্রধান গ্রুপ মৌলসমূহের রসায়ন ইতঃপূর্বে প্রকাশিত হয়েছে এবং সকল পুস্তক পাঠকসমাজ সাদরে গ্রহণ করেছেন। ‘অবস্থান্তর এবং অন্তঃঅবস্থান্তর মৌলসমূহের রসায়ন’ আরেকটি নতুন সংযোজন। ইংরেজি ভাষায় প্রকাশিত অনেক উন্নত মানের পুস্তকের অনুসরণে অত্যন্ত সহজ-সরল ভাষায় প্রচুর চিত্রসহ পুস্তকটি রচিত হয়েছে। এসব পুস্তকের একটি তালিকা বই-এর শেষে দেওয়া হয়েছে। আমি পুস্তকগুলির লেখক এবং প্রকাশকদের কাছে আমার ঋণ ও কৃতজ্ঞতা স্বীকার করছি। আশা করি বাংলাদেশের সকল বিশ্ববিদ্যালয়ে রসায়ন বিষয়ে স্নাতক (সম্মান) এবং স্নাতকোত্তর পর্যায়ে অধ্যয়নরত ছাত্রছাত্রীদের জন্য পুস্তকটি সহায়ক ভূমিকা পালন করবে। যাদের শিক্ষার মাধ্যম ইংরেজি ভাষা তাঁরাও এ পুস্তকটি পাঠ করে রসায়নের জটিল বিষয়গুলি সম্পর্কে অতি সহজে একটি স্বচ্ছ ধারণা অর্জন করতে সক্ষম হবেন।

পুস্তকটি রচনার জন্য আমার ছাত্রছাত্রী, সহকর্মীবৃন্দ এবং বাংলা একাডেমী কর্তৃপক্ষ আমাকে উৎসাহ দিয়েছেন। আমি সবাইকে আন্তরিক ধন্যবাদ জানাচ্ছি। পুস্তকটি রচনাকালে আমার স্ত্রী ঝর্ণা অসীম ধৈর্য ধারণ করে আমাকে সহায়তা করেছেন। সেজন্য তাঁকেও ধন্যবাদ জানাচ্ছি। বই-এর সকল চিত্র আমার ছেলে আশিস ঐকে দিয়েছেন। তাকেও ধন্যবাদ।

পূর্বে প্রকাশিত আমার অন্যান্য বইয়ের মতো বর্তমান বইটির প্রকাশনার দায়িত্বও বাংলা একাডেমীর পাঠ্যপুস্তক বিভাগ গ্রহণ করায় আমি গর্ববোধ করছি। প্রকাশনার সাথে সংশ্লিষ্ট সকল কর্মকর্তাকে আমি এই সুযোগে ধন্যবাদ জানাই।

পরিশেষে যাদের উদ্দেশ্যে এই বইটি রচিত সেই পাঠক সমাজের উপকারে এলে আমার পরিশ্রম সার্থক হয়েছে বলে মনে করব।

সূচিপত্র

প্রথম অধ্যায় : অবস্থান্তর মৌলসমূহের সাধারণ বৈশিষ্ট্যসমূহ	১-১৫
দ্বিতীয় অধ্যায় : প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌলসমূহ	১৬-৫৩
তৃতীয় অধ্যায় : দ্বিতীয় এবং তৃতীয় অবস্থান্তর সিরিজের মৌলসমূহ	৫৪-৯২
চতুর্থ অধ্যায় : প্রথম অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ : ল্যান্থানাইড মৌলসমূহ	৯৩-১১২
পঞ্চম অধ্যায় : দ্বিতীয় অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ : অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহ	১১৩-১২৮
গ্রন্থপঞ্জি	১২৯-১৩০
নির্ঘণ্ট	১৩১-১৩২



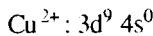
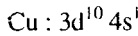
প্রথম অধ্যায়

অবস্থান্তর মৌলসমূহের সাধারণ বৈশিষ্ট্যসমূহ

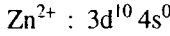
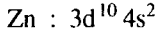
(General Characteristics of the Transition Elements)

যে সব মৌলের পরমাণু অথবা সাধারণ জারণ অবস্থাবিশিষ্ট কোনো আয়নে ইলেকট্রন দ্বারা আংশিকভাবে পূর্ণ d উপস্তর উপস্থিত থাকে তাদেরকে অবস্থান্তর মৌল (transition elements) বলা হয়। এরা d -ব্লক মৌল এবং পর্যায় সারণিতে s -ব্লক ও p -ব্লক মৌলগুলির মাঝখানে অবস্থিত। তীব্র আয়নিক যৌগ গঠনকারী s -ব্লক মৌল এবং প্রধানত সমযোজী যৌগ গঠনকারী p -ব্লক মৌলের মাঝামাঝি প্রকৃতিবিশিষ্ট হওয়ায় অবস্থান্তর মৌলগুলির এরূপ নাম দেওয়া হয়েছে। অবস্থান্তর মৌলগুলির মোট চারটি সিরিজ রয়েছে : $3d$ সিরিজ, $4d$ সিরিজ, $5d$ সিরিজ এবং $6d$ সিরিজ। এদের মধ্যে $6d$ সিরিজটি অসম্পূর্ণ এবং এদের ধর্ম সম্পর্কে বিশেষ কিছু জানা যায়নি।

১.১ সারণিতে $3d$ সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হয়েছে। স্ক্যান্ডিনিয়াম $Sc(Z=21)$, যার বহিস্থ ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^1 4s^1$, $3d$ সিরিজের প্রথম অবস্থান্তর মৌল। সকল অবস্থান্তর মৌলের মধ্যে এটি সবচেয়ে হালকা। পরবর্তী আটটি মৌল $Ti(Z=22)$, $V(Z=23)$, $Cr(Z=24)$, $Mn(Z=25)$, $Fe(Z=26)$, $Co(Z=27)$, $Ni(Z=28)$ এবং $Cu(Z=29)$ এর ক্ষেত্রে প্রতিটির মুক্ত পরমাণুতে (কপার ব্যতীত) এবং এক বা একাধিক সুস্থিত আয়নে (স্ক্যান্ডিনিয়াম ব্যতীত) আংশিকভাবে পূর্ণ d উপস্তর থাকে। কপার পরমাণুর $3d$ উপস্তরটি দশটি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকলেও Cu^{2+} আয়নে এ উপস্তরে নয়টি ইলেকট্রন থাকে।



স্ক্যান্ডিনিয়ামের ক্ষেত্রে কেবল Sc^{3+} আয়ন গঠিত হয় যার মধ্যে কোনো d ইলেকট্রন থাকে না। অবস্থান্তর মৌলের সংজ্ঞানুসারে Sc থেকে Cu পর্যন্ত নয়টি মৌল $3d$ সিরিজের অবস্থান্তর মৌল। কপারের পরবর্তী মৌল $Zn(Z=30)$ এর বহিস্থ স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^{10} 4s^2$ । অতএব এ মৌলের পরমাণু অবস্থায় আংশিকভাবে পূর্ণ কোনো d উপস্তর থাকে না। জিঙ্ক কেবল Zn^{2+} আয়ন গঠন করে এবং এ আয়নটিতেও আংশিকভাবে পূর্ণ d উপস্তর পাওয়া যায় না।

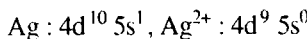
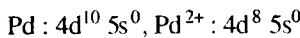


যেহেতু জিঙ্কের পরমাণু এবং আয়ন কোনোটিতেই আংশিকভাবে পূর্ণ d উপস্তর থাকে না, সেজন্য জিঙ্ক কোনো অবস্থান্তর মৌল নয়। জিঙ্কের ধর্মও অবস্থান্তর মৌলের ধর্ম থেকে পৃথক। যেমন সবগুলি অবস্থান্তর মৌল উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট কঠিন পদার্থ এবং এদের অধিকাংশ যৌগ রঙিন হয় কিন্তু জিঙ্কের গলনাংক তুলনামূলকভাবে নিম্ন এবং এর অধিকাংশ যৌগ বর্ণহীন।

সারণি ১.১ : 3d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলসমূহের যোজনী স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস।

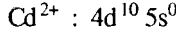
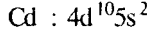
Sc (Z = 21)	$3d^1 4s^2$
Ti (Z = 22)	$3d^2 4s^2$
V (Z = 23)	$3d^3 4s^2$
Cr (Z = 24)	$3d^5 4s^1$
Mn (Z = 25)	$3d^5 4s^2$
Fe (Z = 26)	$3d^6 4s^2$
Co (Z = 28)	$3d^7 4s^2$
Ni (Z = 28)	$3d^8 4s^2$
Cu (Z = 29)	$3d^{10} 4s^1$

4d সিরিজের প্রথম অবস্থান্তর মৌল হলো ইট্রিয়াম Y (Z = 39) যার বহিস্থ ইলেকট্রন বিন্যাস $4d^1 5s^2$ । এর পরবর্তী আটটি মৌল Zr (Z = 40), Nb (Z = 41), Mo (Z = 42), Tc (Z = 43), Ru (Z = 44), Rh (Z = 45), Pd (Z = 46) এবং Ag (Z = 47) এর ক্ষেত্রে প্রতিটির মুক্ত পরমাণুতে (Pd এবং Ag ব্যতীত) এবং রাসায়নিকভাবে গুরুত্বপূর্ণ এক বা একাধিক আয়নে (ইট্রিয়াম ব্যতীত) ইলেকট্রন দ্বারা আংশিকভাবে পূর্ণ 4d উপস্তর উপস্থিত থাকে। Pd এবং Ag পরমাণুতে 4d উপস্তরটি দশটি ইলেকট্রন দ্বারা পরিপূর্ণ হলেও Pd^{2+} এ বং Ag^{2+} আয়নে আংশিকভাবে পূর্ণ 4d উপস্তর পাওয়া যায়।



অতএব Y (Z = 39) থেকে Ag (Z = 47) পর্যন্ত নয়টি মৌল 4d সিরিজের অবস্থান্তর মৌল। সিলভারের পরবর্তী মৌল ক্যাডমিয়াম Cd (Z = 48) এর পরমাণু এবং এর একমাত্র

আয়ন Cd^{2+} কোনোটিতেই আংশিকভাবে পূর্ণ d উপস্তর থাকে না। এজন্য এটি অবস্থান্তর মৌল নয়।



১.২ সারণিতে 4d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হয়েছে।

5d সিরিজের প্রথম অবস্থান্তর মৌল ল্যান্থানাম $La(Z = 57)$ । এর যোজনী স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস $5d^1 6s^2$ । এর পরবর্তী মৌল $Ce(Z = 58)$ থেকে $Lu(Z = 71)$ পর্যন্ত চৌদ্দটি মৌলে ইলেকট্রন 5d উপস্তরে প্রবেশ না করে 4f উপস্তরে প্রবেশ করতে থাকে,

সারণি ১.২ : 4d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলসমূহের যোজনী স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস।

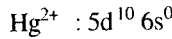
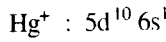
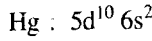
Y (Z = 39)	$4d^1 5s^2$
Zr (Z = 40)	$4d^2 5s^2$
Nb (Z = 41)	$4d^4 5s^1$
Mo (Z = 42)	$4d^5 5s^1$
Tc (Z = 43)	$4d^6 5s^1$
Ru (Z = 44)	$4d^7 5s^1$
Rh (Z = 45)	$4d^8 5s^1$
Pd (Z = 46)	$4d^{10} 5s^0$
Ag (Z = 47)	$4d^{10} 5s^1$

$Lu(Z = 71)$ এ এসে 4f উপস্তরটি 14টি ইলেকট্রন দ্বারা ভরে যায়। অবস্থান্তর মৌলের সংজ্ঞানুসারে $Ce(Z = 58)$ থেকে $Lu(Z = 71)$ পর্যন্ত চৌদ্দটি মৌল অবস্থান্তর মৌল নয়, এরা অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল (inner transition elements)। $Lu(Z = 71)$ এর পরবর্তী মৌল হাফনিয়াম $Hf(Z = 72)$ এ এসে ইলেকট্রন পুনরায় 5d উপস্তরে প্রবেশ করে। এর বহিস্থ ইলেকট্রন বিন্যাস $5d^2 6s^2$ । এটি একটি অবস্থান্তর মৌল। পরবর্তী সাতটি মৌল Ta (Z = 73), W (Z = 74), Re (Z = 75), Os (Z = 76), Ir (Z = 77), Pt (Z = 78) এবং Au (Z = 79) এর পরমাণুতে ক্রমশ 5d উপস্তরে ইলেকট্রন ঢুকতে থাকে। এ মৌলগুলির প্রতিটির এক বা একাধিক আয়নে আংশিকভাবে পূর্ণ 5d উপস্তর পাওয়া যায়, গোল্ড বাদে সবগুলির চার্জমুক্ত পরমাণুতেও 5d উপস্তরটি ইলেকট্রন দ্বারা আংশিকভাবে পূর্ণ থাকে। গোল্ডের বহিস্থ স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস $5d^{10}6s^1$, কিন্তু Au^{3+} আয়নের বহিস্থ ইলেকট্রন বিন্যাস $5d^8 6s^0$ । অতএব সংজ্ঞানুসারে গোল্ড একটি অবস্থান্তর মৌল। $Ce(Z = 58)$ থেকে $Lu(Z = 71)$ পর্যন্ত চৌদ্দটি মৌল বাদে $La(Z = 57)$ থেকে $Au(Z = 79)$ পর্যন্ত

সারণি ১.৩ : 5d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলসমূহের যোজনী স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস।

La (Z = 57)	$5d^1 6s^2$
Hf (Z = 72)	$5d^2 6s^2$
Ta (Z = 73)	$5d^3 6s^2$
W (Z = 74)	$5d^4 6s^2$
Re (Z = 75)	$5d^5 6s^2$
Os (Z = 76)	$5d^6 6s^2$
Ir (Z = 77)	$5d^7 6s^2$
Pt (Z = 78)	$5d^9 6s^1$
Au (Z = 79)	$5d^{10} 6s^1$

নয়টি মৌল 5d সিরিজের অবস্থান্তর মৌল। গোল্ডের পরবর্তী মৌল মারকারি Hg (Z = 80) অবস্থান্তর মৌল নয়, কারণ এর চার্জ নিরপেক্ষ পরমাণু অথবা কোনো আয়নে আংশিকভাবে পূর্ণ 5d উপস্তর থাকে না।



অবস্থান্তর মৌলগুলি যেখানে উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট কঠিন পদার্থ হয় সেখানে মারকারি সাধারণ তাপমাত্রায় একটি তরল পদার্থ। ১.৩ সারণিতে 5d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির যোজনী স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হয়েছে।

অ্যাক্টিনিয়াম Ac (Z = 89) 6d সিরিজের প্রথম অবস্থান্তর মৌল। এর বহিস্থ ইলেকট্রন বিন্যাস $6d^1 7s^2$ । Th (Z = 90) থেকে Lw (Z = 103) পর্যন্ত পরবর্তী চৌদ্দটি মৌল ইলেকট্রন ক্রমশ 5f উপস্তরে প্রবেশ করে। অতএব এরা অবস্থান্তর মৌল নয়, এরা অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল। পারমাণবিক সংখ্যা 104 থেকে 109 পর্যন্ত মৌলগুলি ল্যাভরেটেরিতে প্রস্তুত করা হয়েছে। এরা অবস্থান্তর মৌল কিন্তু এদের সঠিক ইলেকট্রন বিন্যাস এবং ধর্ম জানা যায়নি। অতএব অবস্থান্তর মৌলের 6d সিরিজটি অসম্পূর্ণ এবং এ সিরিজের মৌলগুলি প্রায় অপরিচিত।

এ পর্যন্ত আলোচনা থেকে বুঝা যায়, পর্যায় সারণিতে s এবং p ব্লক মৌলগুলির মাঝখানে অবস্থিত d ব্লক মৌলগুলির মধ্যে GrIIB(12) এর তিনটি মৌল Zn, Cd এবং Hg বাদে অবশিষ্ট সবগুলি d ব্লক মৌলই অবস্থান্তর মৌল। সকল অবস্থান্তর মৌলের ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি লক্ষ্য করা যায় :

- (১) অবস্থান্তর মৌলগুলি কঠিন, শক্ত, উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতু যাদের তাপ এবং বিদ্যুৎ পরিবাহিতা উচ্চ। এরা একে অপরের সাথে এবং অন্য ধাতুর সাথে অ্যালয় গঠন করে।
- (২) অবস্থান্তর মৌলগুলির একাধিক জারণ অবস্থা থাকে।
- (৩) অবস্থান্তর মৌলগুলি রঙিন আয়ন গঠন করে।
- (৪) অবস্থান্তর মৌলের আয়নগুলি অনেকগুলি লিগ্যান্ডের সাথে জটিল যৌগ গঠন করে।
- (৫) অবস্থান্তর মৌলের অনেকগুলি যৌগ প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম দেখায়।
- (৬) অবস্থান্তর মৌলের যৌগগুলি সাধারণত প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

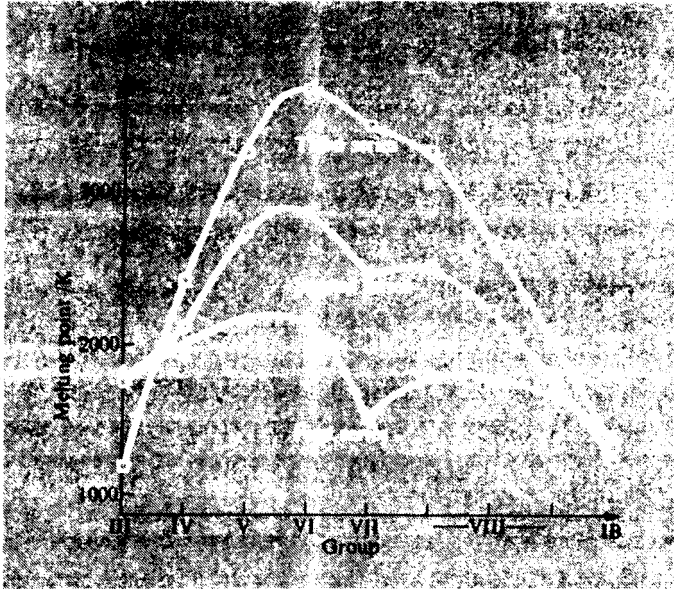
নিচে এ বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা করা হলো।

ধাতব প্রকৃতি (Metallic properties)

সম্ভবত অবস্থান্তর মৌলের সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য ধর্ম হলো এরা সবগুলি উচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতু এবং এদের তাপ ও বিদ্যুৎ পরিবহণ ক্ষমতা উচ্চ। সাধারণত এরা শক্ত, মজবুত কঠিন পদার্থ এবং একে অপরের সাথে মিশে অ্যালয় গঠন করে। এ ধর্মগুলিই অবস্থান্তর মৌলের অনন্যসাধারণ প্রযুক্তিগত গুরুত্ব দিয়েছে।

অবস্থান্তর মৌলগুলির আয়নীকরণ শক্তির নিম্নমান থেকে বুঝা যায় এদের নিউক্লিয়াস দ্বারা যোজনী ইলেকট্রনগুলি দুর্বলভাবে আকর্ষিত হয়। এদের পরমাণুর অতিরিক্ত ইলেকট্রনের প্রতি আসক্তি খুব কম। সেজন্য এক জোড়া পরমাণুর মধ্যে আকর্ষণ বল খুব দুর্বল, সে কারণেই মৌলগুলি দ্বি-পরমাণুকে অণু গঠন করে না। এর পরিবর্তে অনেকগুলি পরমাণুর মধ্যে যোজনী ইলেকট্রনগুলির শেয়ার ঘটলে অধিক সুস্থিতি পাওয়া যায়, কারণ প্রতিটি ইলেকট্রন কয়েকটি ধনাত্মক নিউক্লিয়াস দ্বারা অধিক পরিমাণে আকর্ষিত হয়। ধাতব কঠিন পদার্থের গাঠনিক বিন্যাসের একটি বৈশিষ্ট্য হলো ধনাত্মক আয়নগুলি দ্বারা একটি ল্যাটিস গঠিত হয় এবং ল্যাটিসে উপস্থিত আয়নগুলি সমগ্র ল্যাটিসের মধ্যে বিস্থানীয়কৃত (delocalized) ইলেকট্রনগুলি দ্বারা যুক্ত হয়ে একত্রে অবস্থান করে। অবস্থান্তর মৌলগুলির ক্ষেত্রে এ ইলেকট্রনগুলি পরমাণুর ns এবং $(n-1)d$ অরবিটালগুলি থেকে আসে এবং ল্যাটিসটি এমনভাবে গঠিত হয় যেন প্রতিটি আয়ন তার চারপাশে আটটি অথবা বারটি নিকটতম প্রতিবেশি আয়নের সন্নিবিষ্ট থাকে। ইলেকট্রনগুলি অত্যন্ত সচল অবস্থায় থাকে এবং ধাতুখণ্ডের দুটি প্রান্তের মধ্যে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করলে উচ্চ বৈদ্যুতিক পরিবাহিতা পাওয়া যায়।

অবস্থান্তর মৌলগুলির সর্বোচ্চ গলনাঙ্ক সবগুলি সিরিজের $(3d, 4d, 5d)$ Gr VIB(6)-এর নিকটবর্তী মৌলে (Cr, Mo, W) পাওয়া যায়। চিত্রে এটি দেখানো হয়েছে। সর্বোচ্চ ঘনত্বও প্রায় একই অঞ্চলে পাওয়া যায়—যেমন সকল মৌলের মধ্যে অসমিয়াম Os ($Z = 76$) এর ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি। এ থেকে বুঝা যায়, যে কোনো সিরিজের সর্বোচ্চ বন্ধন শক্তি (binding energy) সিরিজের মাঝখানের মৌলে পাওয়া যায় এবং ধাতব



চিত্র ১.১ : অবস্থান্তর মৌলসমূহের গলনাঙ্ক।

বন্ধন (metallic bond) গঠনের জন্য এ মৌলগুলি থেকে সবচেয়ে বেশি সংখ্যক যোজনী ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে। উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, এ মৌলগুলি জারক পদার্থগুলিকে অতি সহজে ইলেকট্রন ছেড়ে দেয় এবং সে কারণেই পর্যায় সারণিতে এরাই সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা (oxidation state) দেখাতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, 3d সিরিজের সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা +7 CrVIA(7) এ অবস্থিত ম্যাংগানিজ Mn ($Z=25$) এর ক্ষেত্রে পাওয়া যায়। বন্ধন শক্তি এবং প্রাপ্য জারণ সংখ্যার মধ্যে এরূপ সম্পর্ক ধাতব রসায়নের একটি সাধারণ ঘটনা।

বিস্থানীয়কৃত ইলেকট্রনের উপস্থিতি এবং সবগুলি আয়ন ধনাত্মক চার্জযুক্ত হওয়ার কারণে ধাতব ল্যাটিসের ধর্ম আয়নিক লবণের ল্যাটিসের ধর্ম থেকে পৃথক হয়। যেমন ইলেকট্রনের উপর দিয়ে আয়নগুলি সহজে এক স্তর থেকে অন্যস্তরে গড়িয়ে যেতে পারে, এর জন্য প্রবল ইলেকট্রোস্ট্যাটিক বল অতিক্রম করার প্রয়োজন হয় না। এজন্য ল্যাটিসের কোনো পরিবর্তন না করেই হাতুড়ি দিয়ে আঘাত করে ধাতুখণ্ডকে সহজে পাতলা করা যায় এবং বল প্রয়োগ করে সহজে বাঁকা করা যায়।

এক ধাতুর পরমাণুকে সমান আয়তনবিশিষ্ট অন্য ধাতুর পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপন করলে ল্যাটিসের বিকৃতি খুবই কম হয় এবং অ্যালয় গঠিত হতে পারে। অ্যালয়গুলি বিভিন্ন অনুপাতে একাধিক ধাতুর একটি কঠিন দ্রবণ যার ভৌত ধর্মে পরিবর্তন ঘটে। বিকল্পভাবে, ধাতু ল্যাটিসের আন্তঃপারমাণবিক ক্ষুদ্র ফাঁকগুলির মধ্যে ক্ষুদ্র আকারের অধাতব পরমাণু

বিভিন্ন অনুপাতে ঢুকিয়ে ইন্টারস্টিসিয়াল (interstitial) যৌগ প্রস্তুত করা যায়। প্রতিস্থাপনকারী পরমাণুগুলি যদি যথেষ্ট ক্ষুদ্র আকারের হয় তাহলে তারা ল্যাটিসটিকে পুরাপুরি বদলিয়ে দিতে পারেনা কিন্তু কিছুটা বিকৃতি ঘটায় এবং একে অধিক কঠিন করে। অনেক ক্ষেত্রে গঠিত এ ধরনের যৌগগুলি তাদের চরম কঠিন্য এবং অতি উচ্চ গলনাঙ্কের কারণে বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ হয়। এদিক দিয়ে এরা অনেক সময় সিরামিক পদার্থের অনুরূপ হয় কিন্তু এদের তাপ ও বিদ্যুৎ পরিবাহিতা ধাতব পরিবাহীর প্রায় কাছাকাছি হয়। এরূপ যৌগের মধ্যে রয়েছে অবস্থান্তর ধাতুর হাইড্রাইড, কার্বাইড, বোরাইড এবং নাইট্রাইডসমূহ। বিভিন্ন প্রকার স্টীল প্রস্তুতের জন্য অবস্থান্তর ধাতুর কার্বাইড ব্যবহার করা হয়।

পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা (Variable oxidation states)

কোনো যৌগে একটি নিদিষ্ট মৌলের জারণ অবস্থা অথবা জারণ সংখ্যা হলো ঐ মৌলের প্রতিটি পরমাণুর প্রতি আরোপিত আনুষ্ঠানিক চার্জ। এর মান হিসাব করার জন্য নিম্নলিখিত নিয়মগুলি অনুসরণ করা হয় :

(১) মুক্ত মৌলের পরমাণুগুলির জারণ সংখ্যা শূন্য ;

(২) পারঅক্সাইড এবং সুপারঅক্সাইডগুলি বাদে অন্য সকল যৌগে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা 2 ;

(৩) ধাতব হাইড্রাইডগুলি বাদে অন্য সব যৌগে হাইড্রোজেনের জারণ সংখ্যা +1 ;

(৪) অক্সিজেন এবং অপর কোনো হ্যালোজেনের সাথে সরাসরি যুক্ত না হলে সকল যৌগে হ্যালোজেনের জারণ সংখ্যা -1 ;

(৫) অনেকগুলি সরল আয়নের জারণ সংখ্যা আয়নিক চার্জের সমান। যেমন Na^+ , K^+ এবং Mg^{2+} আয়নগুলির জারণ সংখ্যা যথাক্রমে +1, +1 এবং +2।

এ নিয়মগুলির ভিত্তিতে KMnO_4 যৌগে Mn এর জারণ সংখ্যা +7 পাওয়া যায় এবং Mn (VII) দ্বারা এটি প্রকাশ করা হয়। জারণ সংখ্যা যোজনীর প্রকৃতি (আয়নিক, সমযোজী, বহুবন্ধন ইত্যাদি) সম্পর্কে কোনো ধারণা দেয় না।

যেহেতু অবস্থান্তর মৌলে সমান শক্তির নয় কিন্তু কাছাকাছি শক্তির বিভিন্ন অরবিটালগুলিতে কতিপয় ইলেকট্রন থাকে সেজন্য বন্ধন গঠনের সময় বিভিন্ন সংখ্যক ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে বিভিন্ন প্রকার জারণ সংখ্যা দিতে পারে। পৃথক জারণ সংখ্যাগুলির আপেক্ষিক সুস্থিতি কয়েকটি উপাদানের উপর নির্ভর করে, যেমন ইলেকট্রনিক গঠন, বন্ধন প্রকৃতি (আয়নিক বা সমযোজী, σ অথবা π) ল্যাটিস শক্তি, দ্রাবক এবং সলভেশান শক্তি (solvation energy)। এতগুলি উপাদানের উপর নির্ভরশীলতার কারণে বিভিন্ন মৌলের জারণ সংখ্যা তুলনা করার সময় যথেষ্ট সতর্ক হওয়া উচিত।

যে কোনো অবস্থান্তর মৌলের জারণ সংখ্যাগুলি এক একক করে পরিবর্তিত হয়, যেমন : আয়রনের জারণ সংখ্যা +2 এবং +3, কপারের জারণ সংখ্যা +1 এবং +2। কিন্তু

প্রধান গ্রুপ মৌলের জারণ সংখ্যা দুই একক করে পরিবর্তিত হয়, যেমন : টিনের জারণ সংখ্যা +2 এবং +4। প্রধান গ্রুপ মৌলের জারণ সংখ্যার এরূপ পার্থক্য সাধারণত নিষ্ক্রিয় ইলেকট্রন জোড় (inert pair of electrons) এর কারণে হয়ে থাকে।

স্ক্যান্ডিয়াম (যার জারণ সংখ্যা কেবল +3 হয়) বাদে প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের সবগুলি মৌলই $(n-1)s$ স্তরের উভয় ইলেকট্রন দুটি ব্যবহার করে +2 জারণ অবস্থা গঠন করে; +2 অপেক্ষা বৃহত্তর জারণ অবস্থাগুলি গঠনের সময় $4s$ স্তরের দুটি ইলেকট্রন ছাড়াও $3d$ স্তরের প্রয়োজনীয় সংখ্যক ইলেকট্রন ব্যবহৃত হয়। ১.৪ সারণিতে প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌলগুলির জারণ অবস্থাসমূহ দেখানো হয়েছে।

সারণি ১.৪ : প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌলগুলির জারণ অবস্থা।*

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
			1					1
3	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	
		5	5	5	5	5		
			6	6	6			
				7				

* প্রধান জারণ সংখ্যাগুলি মোটা করে দেখানো হয়েছে।

সাধারণভাবে, নিম্ন জারণ অবস্থায় মৌলগুলি বিজারক হিসেবে কাজ করে এবং উচ্চ জারণ অবস্থায় মৌলগুলি জারক হিসেবে কাজ করে, যেমন : Cr^{2+} বাতাসের উপস্থিতিতে শীঘ্র জারিত হয়ে Cr^{3+} অবস্থায় যায়, এবং পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (VI), $K_2Cr_2O_7$ (যেখানে ক্রোমিয়ামের জারণ অবস্থা +6) শীঘ্র বিজারিত হয়ে Cr^{3+} গঠন করে।

অবস্থান্তর মৌলগুলি তাদের নিম্ন জারণ অবস্থায় ক্ষারকীয় অক্সাইড এবং উচ্চ জারণ অবস্থায় এসিডীয় অক্সাইড গঠন করে, উচ্চ এবং নিম্নজারণ অবস্থার মাঝামাঝি অক্সাইডগুলি সাধারণত অ্যামফোটেরিক প্রকৃতির হয়। ১.৫ সারণিতে ম্যাংগানিজ অক্সাইডগুলির এসিড বেস প্রকৃতি দেখানো হয়েছে।

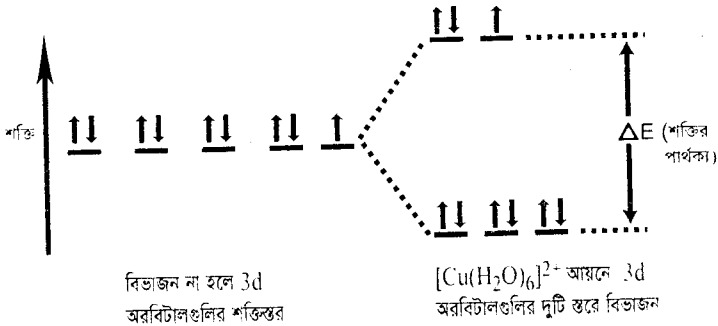
সারণি ১.৫ : ম্যাংগানিজ অক্সাইডসমূহের এসিড-বেস ধর্ম।

ধাতুর অক্সাইড	ধাতুর জারণ সংখ্যা	অক্সাইডের প্রকৃতি	লবণ
MnO	+2	ক্ষারকীয়	Mn^{2+} লবণসমূহ
Mn_2O_3	+3	ক্ষারকীয়	কতিপয় Mn^{3+} লবণ, যেমন MnF_3
MnO_2	+4	অ্যামফোটেরিক	$Mn(SO_4)_2$ এবং K_2MnO_3
MnO_3	+6	এসিডীয়	K_2MnO_4
Mn_2O_7	+7	এসিডীয়	$KMnO_4$

বর্ণ (Colour)

অবস্থান্তর মৌলগুলির অনেক আয়নিক এবং সমযোজী যৌগ রঙিন হয়। পক্ষান্তরে s এবং p ব্লক মৌলগুলির যৌগসমূহ সাধারণভাবে বর্ণহীন হয়। কোনো বস্তুর মধ্য দিয়ে সাদা আলো অতিক্রম করলে ঐ বস্তু যদি সাদা আলোর কিছু অংশ শোষণ করে তাহলে বস্তুটি রঙিন দেখায়। অবস্থান্তর মৌলের যৌগগুলির ক্ষেত্রে সাদা আলোর কিছু অংশ শোষিত হয় বলেই এরা রঙিন হয়, কিন্তু s এবং p ব্লক মৌলসমূহের যৌগগুলির ক্ষেত্রে সাদা আলো শোষিত হয় না বলে এরা রঙিন হয় না।

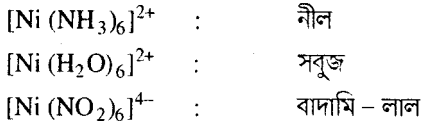
অবস্থান্তর মৌলের মুক্ত বিচ্ছিন্ন গ্যাসীয় আয়নগুলির ক্ষেত্রে পাঁচটি d অরবিটাল সমশক্তি অবস্থায় থাকে। আয়নগুলি যদি দ্রবণে উপস্থিত থাকে তাহলে এরা দ্রাবক অণু দ্বারা পরিবেষ্টিত হয়, জটিল যৌগে এরা অন্য লিগ্যান্ড দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে, অথবা কঠিন কেলাস ল্যাটিসে অন্য আয়ন দ্বারা ঘেরা থাকে। পরিবেষ্টনকারী গ্রুপগুলি অবস্থান্তর ধাতু আয়নে উপস্থিত d অরবিটালগুলির কতকগুলির শক্তিস্তর অবশিষ্টগুলির শক্তিস্তর থেকে পৃথক করে দেয়। ফলে এ অবস্থায় সবগুলি d অরবিটালের শক্তি সমান থাকে না, এরা দুটি পৃথক শক্তিস্তরে বিভক্ত হয়ে যায়। যে অরবিটালগুলি লিগ্যান্ডের বেশি কাছাকাছি থাকে তারা লিগ্যান্ড দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে অন্য অরবিটালগুলির তুলনায় উচ্চ শক্তিসম্পন্ন হয়। ১.২ চিত্রে কপার (II) আয়নের ক্ষেত্রে d অরবিটালগুলির শক্তির বিভাজন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১.২ : [Cu(H₂O)₆]²⁺ আয়নের ক্ষেত্রে 3d অরবিটালগুলির দুটি স্তরে বিভাজন।

চিত্র থেকে দেখা যায় 3d অরবিটালগুলির দুটির শক্তি অবশিষ্ট তিনটির শক্তির তুলনায় উচ্চ হয়। শক্তি পার্থক্য ΔE হলে প্ল্যাঙ্কের সমীকরণ অনুসারে ΔE = hν হয়। উপরের সমীকরণ অনুযায়ী ΔE শক্তির আলো শোষণ করে নিম্ন শক্তির 3d অরবিটালের ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তরে প্রবেশ করবে। অবস্থান্তর ধাতু আয়নের ক্ষেত্রে এ শক্তির আলো দৃশ্যমান অংশের আলোর একটি অংশ। আর্দ্র কপার (II) আয়ন নীল বর্ণের হয়, কারণ সঠিক কম্পাঙ্কের লাল আলো সাদা আলো থেকে শোষিত হয় (সাদা আলো থেকে লাল আলো শোষিত হলে অবশিষ্ট আলোর রং নীল হয়)। যেহেতু 3d অরবিটালগুলির শক্তির বিভাজনের

মাত্রা লিগ্যান্ডের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে, বিভিন্ন লিগ্যান্ডের জন্য একই ধাতুর জটিল আয়নের রং পৃথক হয়। উদাহরণ হিসেবে Ni^{2+} আয়ন NH_3 , H_2O এবং NO_2^- লিগ্যান্ডের সাথে তিনটি পৃথক বর্ণের জটিল গঠন করে :



কোনো একটি ধাতব আয়নের জটিল যৌগের রং লিগ্যান্ডের সংখ্যা এবং জটিল আয়নের আকৃতির উপরও নির্ভর করে। যেমন আর্দ্র কোবাল্ট (II) আয়ন গোলাপি কিন্তু আর্দ্র $[CoCl_4]^{2-}$ এর বর্ণ নীল।

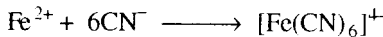
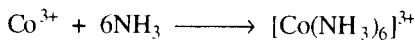


কোনো অবস্থান্তর মৌলের জটিল আয়নে যদি d অরবিটালগুলি সম্পূর্ণ ফাঁকা থাকে অথবা ইলেকট্রন দ্বারা পরিপূর্ণ থাকে তাহলে যৌগগুলির কোনো রং থাকে না। কারণ একরূপ নিম্নশক্তির d উপস্তর থেকে উচ্চ শক্তির d উপস্তরে ইলেকট্রন স্থানান্তরের কোনো সুযোগ থাকে না। এজন্য Sc^{3+} , Ti^{4+} এবং Cu^+ আয়নগুলি কোনো রঙিন যৌগ গঠন করে না।

s -ব্লক এবং p -ব্লক মৌলসমূহে কোনো আংশিকভাবে পূর্ণ d অরবিটাল থাকে না, ফলে এগুলিতে ইলেকট্রনের $d-d$ স্থানান্তর সম্ভব নয়। s এবং p ইলেকট্রনকে উচ্চ শক্তিতে স্থানান্তরের জন্য অতি উচ্চ শক্তির প্রয়োজন হয় যা দৃশ্যমান আলোতে পাওয়া যায় না। এজন্য এরা বর্ণহীন হয়।

জটিল যৌগ গঠন (Formation of complex compounds)

অবস্থান্তর মৌলগুলির একটি অতুলনীয় ঝোঁক হলো লুইস ফ্রার (অর্থাৎ সে গ্রুপগুলি একটি ইলেকট্রন জোড় দান করতে পারে) এর সাথে যুক্ত হয়ে জটিল যৌগ গঠন করা। এ গ্রুপগুলিকে লিগ্যান্ড বলা হয়। লিগ্যান্ড চার্জহীন অণু হতে পারে (যেমন NH_3) অথবা আয়নও হতে পারে (যেমন Cl^- এবং CN^-)। সকল মৌলের মধ্যে কোবাল্টের জটিল যৌগের সংখ্যা সবচেয়ে বেশি।



s এবং p ব্লক মৌলের তুলনায় অবস্থান্তর মৌলের জটিল গঠনের প্রবণতা অনেক বেশি। অবস্থান্তর মৌলের জটিল গঠনের প্রবণতা বেশি হবার কারণ হলো এরা ক্ষুদ্র, উচ্চ চার্জবিশিষ্ট আয়ন গঠন করে এবং এ আয়নগুলিতে ফাঁকা নিম্ন শক্তির অরবিটাল পাওয়া যায় যা অন্য গ্রুপ বা লিগ্যান্ড থেকে ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করতে পারে। +3 জারণ অবস্থাবিশিষ্ট ধাতুগুলি সাধারণত +2 জারণ অবস্থাবিশিষ্ট ধাতুগুলির তুলনায় অধিক সুস্থিত জটিল গঠন করতে পারে।

অবস্থান্তর ধাতুগুলির অধিকাংশ জটিল যৌগে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নটি ছয়টি লিগ্যান্ড দ্বারা অষ্টতলকীয়ভাবে পরিবেষ্টিত থাকে। অন্যগুলিতে চারটি লিগ্যান্ড ধাতব আয়নকে চতুস্তলকীয়ভাবে অথবা সমতল বর্গাকারে ঘিরে থাকে। লিগ্যান্ড এবং অবস্থান্তর ধাতু আয়নগুলির মধ্যে বন্ধন প্রকৃতি আয়নিক অথবা প্রধানত সমযোজী গুণবিশিষ্ট হয় এবং অনেক ক্ষেত্রে এ দুই এর মাঝামাঝি প্রকৃতির হতে পারে। ১.৬ সারণিতে কয়েকটি বিভিন্ন আকৃতির জটিল যৌগ উল্লেখ করা হয়েছে।

সারণি ১.৬ : কয়েকটি অবস্থান্তর ধাতুর জটিল যৌগ।

অষ্টতলকীয় জটিল	চতুস্তলকীয় জটিল	বর্গাকৃতির সমতলীয় জটিল
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	MnO_4^-	$[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	CrO_4^{2-}	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$	
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$		

যখন একটি যৌগে লিগ্যান্ড হিসেবে কার্যকর বিভিন্ন লিগ্যান্ড উপস্থিত থাকে তখন সম্মিলিত স্তরে একাধিক প্রকৃতির লিগ্যান্ডের উপস্থিতির কারণে সমানুতা দেখা যায়। একটি সুপরিচিত উদাহরণ হলো ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড হাইড্রেট যৌগসমূহ $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ যা জলীয় দ্রবণে প্রস্তুত করা যায় (সারণি ১.৭)।

সারণি ১.৭ : ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড হেক্সাহাইড্রেটসমূহ, $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ।

যৌগ	রং	ক্লোরাইড আয়নের সংখ্যা	মোট আয়নের সংখ্যা
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} 3\text{Cl}^-$	বেগুনি	3	4
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]^{2+} 2\text{Cl}^- \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ফিকে সবুজ	2	3
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+ \text{Cl}^- \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	অন্ধকার সবুজ	1	2

যৌগে যত বেশি মুক্ত আয়ন পাওয়া যায়, যৌগের জলীয় দ্রবণের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা তত বেশি হয়। অতএব দ্রবণের বিদ্যুৎ পরিবাহিতা পরিমাপ করে সহজেই সম্মিলিত স্তরে ক্লোরাইড আয়নের উপস্থিতি জানা যায়। আবার সম্মিলিত স্তরের বাইরে ক্লোরাইড আয়নের সংখ্যা সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে সহজেই নির্ণয় করা যায়, কারণ এগুলি Ag^+ আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে সিলভার ক্লোরাইডের অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।

প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম (Paramagnetic property)

অধিকাংশ পদার্থ একটি তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিকর্ষিত হয়, এদেরকে ডায়াম্যাগনেটিক (diamagnetic) পদার্থ বলা হয়। আবার কিছু পদার্থ রয়েছে যেগুলি তীব্র চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয়, এদেরকে প্যারাম্যাগনেটিক (paramagnetic) পদার্থ বলা হয়। যদি আকর্ষণ বল অতি তীব্র হয় তাহলে সে পদার্থকে ফেরোম্যাগনেটিক (ferromagnetic) পদার্থ বলা হয়। আয়রন, কোবাল্ট এবং নিকেল ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থ।

ইলেকট্রনগুলির তাদের নিজ অক্ষের চারদিকে স্পিন গতি থাকে। একটি তারের কুণ্ডলির মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে যে ভাবে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় ঠিক তেমনি পরমাণুতেও স্পিনগতি একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। একই অরবিটালে দুটি ইলেকট্রনের বিপরীত স্পিন থাকলে তাদের চৌম্বক ক্ষেত্র বিপরীত দিকে কাজ করে, ফলে পরমাণুতে বিপরীত স্পিনযুক্ত ইলেকট্রন জোড়াগুলি থেকে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় না। যেসব পরমাণুতে বিভিন্ন অরবিটালে এক বা একাধিক জোড়হীন ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে কেবল সেগুলি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয়। এরাই প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম দেখায়। অবস্থান্তর মৌলের পরমাণুগুলিতে জোড়হীন ইলেকট্রন উপস্থিত থাকে বলে এরা প্যারাম্যাগনেটিক প্রকৃতিবিশিষ্ট হয়। ম্যাগনেটিক মোমেন্ট পরিমাপ করে পরমাণুতে জোড়হীন ইলেকট্রনের সংখ্যা হিসাব করা যায়। ১.৮ সারণিতে বিভিন্ন সংখ্যক জোড়হীন ইলেকট্রনের জন্য শুধু স্পিনজনিত ম্যাগনেটিক মোমেন্টের মান দেখানো হয়েছে। এ মান নিচের সমীকরণ থেকে হিসাব করা যায় :

$$\mu_s = \sqrt{n(n+2)}$$

এখানে μ_s = স্পিনজনিত ম্যাগনেটিক মোমেন্ট এবং

n = পরমাণুতে জোড়হীন ইলেকট্রনের সংখ্যা।

সারণি ১.৮ : কয়েকটি অবস্থান্তর ধাতু আয়নের ম্যাগনেটিক মোমেন্ট।

আয়ন	3d অরবিটালে ইলেকট্রন বিন্যাস	জোড়হীন ইলেকট্রনের সংখ্যা	μ_s
Sc ³⁺	0	0	0
Ti ³⁺	1	1	1.73
V ³⁺	1,1	2	2.83
Cr ³⁺	1,1,1	3	3.87
Mn ³⁺	1,1,1,1	4	4.90
Mn ²⁺ , Fe ³⁺	1,1,1,1,1	5	5.92
Fe ²⁺	2,1,1,1,1	4	4.90
Co ²⁺	2,2,1,1,1	3	3.87
Ni ²⁺	2,2,2,1,1	2	2.83
Cu ²⁺	2,2,2,2,1	1	1.73

অবস্থান্তর মৌলের যৌগ হলেই কোনো যৌগ প্যারাম্যাগনেটিক হবে এমন কোনো কথা নেই। যেমন Sc^{3+} , Ti^{4+} এবং Cu^{+} আয়নগুলিতে কোনো জোড়হীন ইলেকট্রন না থাকায় এদের যৌগসমূহ প্যারাম্যাগনেটিক হয় না। তাছাড়া Co^{3+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} ইত্যাদি আয়নের অনেক জটিল যৌগে d অরবিটালের জোড়হীন ইলেকট্রনগুলি জোড়া বেঁধে অবস্থান করে ফলে এরাও ডায়াম্যাগনেটিক হয়।

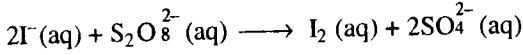
প্রভাবক হিসেবে ধর্ম (Catalytic properties)

অনেকগুলি অবস্থান্তর ধাতু এবং তাদের যৌগসমূহের প্রভাবক হিসেবে কাজ করার ক্ষমতা রয়েছে। নিচে গুরুত্বপূর্ণ কয়েকটি প্রভাবকের উল্লেখ করা হয়েছে।

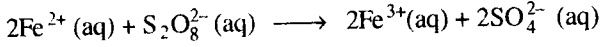
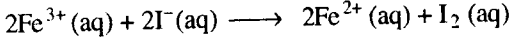
$TiCl_4$	পলিথিন প্রস্তুতের জন্য নাট্রা প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।
V_2O_5	স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 প্রস্তুতের জন্য SO_2 থেকে SO_3 প্রস্তুতের সময় প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।
MnO_2	$KClO_3$ থেকে অক্সিজেন প্রস্তুতের জন্য প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।
Fe	হ্যাবার পদ্ধতিতে NH_3 প্রস্তুতের জন্য ব্যবহৃত হয়।
$FeCl_3$	CS_2 এবং Cl_2 থেকে CCl_4 প্রস্তুতের জন্য প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।
Pd	হাইড্রোজিনেশন ঘটানোর জন্য প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।
$PdCl_2$	ওয়াকার পদ্ধতিতে ইথিলিন থেকে অ্যাসিটালডিহাইড প্রস্তুতের জন্য ব্যবহৃত হয়।
Pt	অতীতে স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 প্রস্তুতের জন্য $SO_2 \longrightarrow SO_3$ ধাপে প্রভাবক হিসেবে ব্যবহার করা হতো।
Pt/Rh	অতীতে HNO_3 প্রস্তুতের সময় NH_3 থেকে NO প্রস্তুতের জন্য প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হতো।
Cu	সিলিকন এবং CH_3Cl এর বিক্রিয়া থেকে সরাসরি $(CH_3)_2SiCl_2$ প্রস্তুতের জন্য প্রভাবক হিসেবে Cu ব্যবহৃত হয়।
Ni	বিভিন্ন বিজারণ বিক্রিয়ায় র্যানি নিকেল প্রভাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

কঠিন পৃষ্ঠে প্রভাবন ঘটানোর সময় বিকারক পদার্থের অণুগুলির সাথে প্রভাবক পৃষ্ঠের পরমাণুগুলির রাসায়নিক বন্ধন গঠিত হয় (এ প্রক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে কাজ করার জন্য প্রভাবকের d অরবিটালগুলি বন্ধন গঠনে ব্যবহৃত হয়)। এর ফলে প্রভাবক পৃষ্ঠে বিকারক পদার্থের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং বিকারক অণুতে উপস্থিত রাসায়নিক বন্ধনগুলি দুর্বল হয়ে পড়ে, ফলে বিক্রিয়ার সক্রিয়ন শক্তির মান কমে যায়।

অবস্থান্তর ধাতু আয়নগুলি তাদের জারণ অবস্থা পরিবর্তনের মাধ্যমে প্রভাবন ঘটায়। যেমন আয়ডাইড আয়ন এবং পারঅক্সোডাইসালফেট আয়নের মধ্যে সংঘটিত বিক্রিয়াটি আয়রন (III) আয়ন দ্বারা প্রভাবিত হয় :



বিক্রিয়াটির প্রভাবন নিচের কৌশলে ব্যাখ্যা করা যায় :



পরীক্ষা থেকে দেখা যায় উপরের দুটি বিক্রিয়াই ঘটে। এটি খুবই সম্ভব যে একই চার্জযুক্ত দুটি আয়নের মধ্যে বিক্রিয়ার গতির তুলনায় বিপরীত চার্জযুক্ত দুই আয়নের বিক্রিয়া দ্রুত গতিতে চলে।

প্রশ্নমালা

১। অবস্থান্তর মৌল কাকে বলে? ম্যাংগানিজকে উদাহরণ হিসেবে নিয়ে অবস্থান্তর মৌলের বৈশিষ্ট্যসূচক ধর্মগুলি আলোচনা কর।

কোন বিবেচনায় কপারকে একটি অবস্থান্তর মৌল হিসেবে বিবেচনা করা যায়? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দাও।

২। অবস্থান্তর মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য হলো এরা পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা দেখায়, রঙিন আয়ন গঠন করে, রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে কাজ করে এবং জটিল যৌগ গঠন করে। 3d সিরিজের তিনটি মৌলকে উদাহরণ হিসেবে নিয়ে অবস্থান্তর মৌলের এরূপ বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর।

জিংককে অবস্থান্তর মৌল বলা যায় কি? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও।

৩। ক্রোমিয়াম অথবা কপার মৌলকে উদাহরণ হিসেবে গ্রহণ করে 'অবস্থান্তর মৌল' এবং 'জটিল আয়ন' পদ দুটি ব্যাখ্যা কর।

ক্রোমিয়াম ক্লোরাইড হেক্সাহাইড্রেট যৌগগুলির বিভিন্ন প্রকার বর্ণ এবং মৌলার কনডাক্টিভিটির কারণ আলোচনা কর।

৪। 3d সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও। জিংককে অবস্থান্তর মৌলের অন্তর্ভুক্ত করা হয় না কেন। অবস্থান্তর মৌলের ধর্ম থেকে জিংকের কয়েকটি ধর্মের পার্থক্য দেখাও।

৫। 5d সিরিজের প্রথম অবস্থান্তর মৌল কোনটি? এর ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও। এর পরবর্তী 14টি মৌলকে অবস্থান্তর মৌল না বলে অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল বলা হয় কেন?

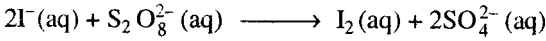
৬। নিম্ন শক্তি অবস্থায় Cu, Ag এবং Au পরমাণুগুলিতে বহিস্থ d অরবিটালগুলি ইলেকট্রন দ্বারা পুরাপুরি পূর্ণ থাকে। তবুও এদেরকে অবস্থান্তর মৌল বলা হয় কেন? এদের দ্বারা গঠিত একটি করে জটিল যৌগের উদাহরণ দাও।

৭। পর্যায় সারণিতে অবস্থিত সবগুলি d ব্লক মৌলকে অবস্থান্তর মৌল বলা যায় কি? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও।

৮। অবস্থান্তর মৌলের প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি কি কি? একটি অবস্থান্তর মৌলের উদাহরণ দিয়ে বৈশিষ্ট্যগুলি আলোচনা কর।

৯। নিম্নলিখিত আয়নগুলির স্পিনজনিত ম্যাগনেটিক মোমেন্ট (μ_B) এর মান হিসাব কর: Cr^{3+} , Mn^{3+} , Fe^{2+} এবং Fe^{3+}

১০। নিচের বিক্রিয়াটি Fe^{3+} আয়নের উপস্থিতিতে দ্রুত গতিতে অগ্রসর হয় কেন?



দ্বিতীয় অধ্যায়

প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌলসমূহ

(Elements of the first Transition Series)

স্ক্যানডিয়াম (21) থেকে কপার (29) পর্যন্ত নয়টি মৌল প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের অন্তর্গত। ২.১ সারণিতে এদের কতিপয় ভৌত ধর্মের উল্লেখ করা হয়েছে।

সারণি ১.১ : প্রথম অবস্থান্তর সিরিজে মৌলসমূহের কতিপয় ভৌত ধর্ম।

মৌল	পারমাণবিক সংখ্যা	ইলেকট্রন বিন্যাস	পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (nm)	আয়নিক ব্যাসার্ধ M^{3+} (nm)	গলনাঙ্ক ($^{\circ}C$)	ঘনত্ব g/cm^3 ($25^{\circ}C$)	প্রমাণ রিডক্স বিভব (V)	
							$M^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow M(s)$	$M^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow M(s)$
Sc	21	[Ar] 3d ¹ 4s ²	0.144	0.081		2.99		- 2.10
Ti	22	[Ar] 3d ² 4s ²	0.132	0.076	1680	4.54	- 1.63	-1.21
V	23	[Ar] 3d ³ 4s ²	0.122	0.074	1917	6.11	-1.18	-0.85
Cr	24	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	0.117	0.069	1890	7.19	-0.91	-0.74
Mn	25	[Ar] 3d ⁵ 4s ²	0.117	0.066	1247	7.42	-1.18	-0.28
Fe	26	[Ar] 3d ⁶ 4s ²	0.116	0.064	1535	7.87	-0.44	-0.04
Co	27	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	0.116	0.063	1490	8.90	-0.28	+ 0.40
Ni	28	[Ar] 3d ⁸ 4s ²	0.115	0.062	1452	8.90	-0.25	
Cu	29	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	0.117		1083	8.94	+ 0.34	

স্ক্যান্ডিয়াম (Scandium)

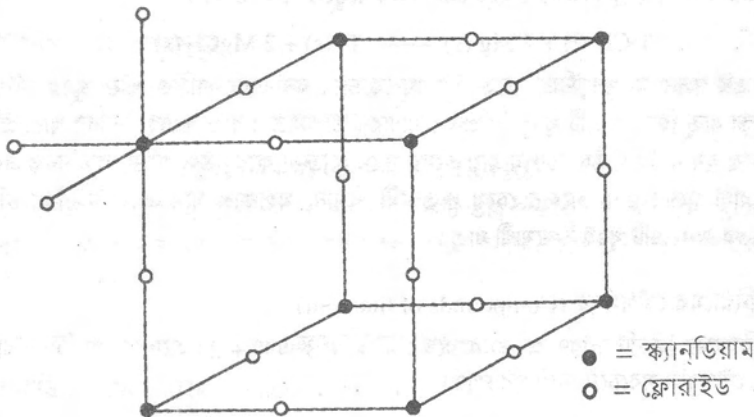
স্ক্যান্ডিয়াম মৌল (The element scandium)

স্ক্যান্ডিয়ামকে সাধারণত এর পরবর্তী ল্যান্থানাইডগুলির সাথে পাওয়া যায়, যা থেকে আয়ন-বিনিময় অথবা দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতিতে একে পৃথক করা যায়। একটি সিলিকেট খনিজ খোর্টভাইটাইট, $Sc_2Si_2O_7$, থেকেও স্ক্যান্ডিয়াম পাওয়া যায়। এটি কোনো গুরুত্বপূর্ণ মৌল নয়। প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের অন্য মৌলগুলির মত এটি কখনো +2 জারণ অবস্থা দেখায় না। এর একমাত্র জারণ অবস্থা হলো +3, রাসায়নিক বন্ধনে এটি এর উভয় 4s ইলেকট্রন এবং একমাত্র 3d ইলেকট্রনটি সর্বদা ব্যবহার করে। Sc^{3+} আয়নের জলীয় দ্রবণ বর্ণহীন, কারণ এতে কোনো d ইলেকট্রন থাকে না।

রাসায়নিকভাবে স্ক্যান্ডিয়াম নিজের গ্রুপের মৌল ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানামের তুলনায় অ্যালুমিনিয়ামের সাথে বেশি মিল দেখায়। বিগলিত $ScCl_3$, KCl এবং $LiCl$ এর মিশ্রণকে তড়িৎ বিশ্লেষণ করে স্ক্যান্ডিয়াম ধাতু পাওয়া যায়। এটি এসিড এবং ক্ষার উভয় দ্রবণে দ্রবীভূত হয়, হ্যালোজেনগুলির সাথে যুক্ত হয় এবং উচ্চ তাপমাত্রায় নাইট্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রাইড যৌগ ScN গঠন করে যা পানি দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়।

স্ক্যান্ডিয়ামের যৌগসমূহ (The compounds of scandium)

স্ক্যান্ডিয়াম একটি অদ্রবণীয় হাইড্রাস অক্সাইড, $ScO(OH)$, গঠন করে যার গাঠনিক কাঠামো $AlO(OH)$ এর গাঠনিক কাঠামোর অনুরূপ এবং এটির মত একটি দুর্বল ক্ষারক যা অ্যালকালি দ্রবণে দ্রবীভূত হয়। অনার্দ্র করলে এটি থেকে Sc_2O_3 পাওয়া যায়। অ্যামোনিয়াম



চিত্র : ২১ : ScF_3 -এর গাঠনিক কাঠামো।

অথবা অ্যালকালি ধাতুর ফ্লোরাইডের সাথে অদ্রবণীয় ScF_3 বিক্রিয়া করে জটিল আয়ন $[ScF_6]^{3-}$ গঠন করে। রিহিনিয়াম ট্রাইঅক্সাইড (ReO_3) এর মত ScF_3 এর একটি সরল

AB₃ প্রকৃতির গাঠনিক কাঠামো থাকে (চিত্র ২.১) যেখানে ধাতুর অষ্টতলকীয় এবং ফ্লোরাইডের সরলরৈখিক সন্নিবেশ হয়।

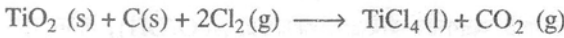
ট্রাইক্লোরাইড ScCl₃ (যার গাঠনিক কাঠামো AlCl₃ এর কাঠামোর অনুরূপ) পানি দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয় এবং অ্যালুমিনিয়াম অক্সিনেটের অনুরূপ যৌগ স্ক্যানডিয়াম অক্সিনেটকে জলীয় দ্রবণ থেকে জৈব দ্রাবকের সাহায্যে নিষ্কাশন করা যায়। স্ক্যানডিয়াম যৌগগুলির কোনো উল্লেখযোগ্য ব্যবহারিক প্রয়োগ নেই।

টিটানিয়াম (Titanium)

টিটানিয়াম মৌল (The element titanium)

ভূত্বকে অবস্থিত ধাতব মৌলগুলির প্রাপ্যতার উচ্চ ক্রমের হিসেবে টিটানিয়ামের স্থান সপ্তম। এর দুটি প্রধান আকরিক হলো রিউটাইল, TiO₂, এবং ইলমিনাইট, FeO. TiO₂।

টিটানিয়াম নিষ্কাশনের জন্য প্রথমে ডাইঅক্সাইড আকরিককে কার্বনের সাথে মিশ্রিত করে ক্লোরিন গ্যাসের প্রবাহে উত্তপ্ত করা হয়। ফলে সমযোজী তরল পদার্থ হিসেবে টিটানিয়াম (IV) ক্লোরাইড পাওয়া যায়।



আংশিক পাতন পদ্ধতিতে টিটানিয়াম (IV) ক্লোরাইডকে পৃথক করা হয় এবং এর সাথে ধাতব ম্যাগনেসিয়াম অথবা ধাতব সোডিয়াম মিশিয়ে আর্গন গ্যাসের আবহাওয়ায় উত্তপ্ত করা হয় যার ফলে TiCl₄ বিজারিত হয়ে টিটানিয়াম ধাতুতে পরিণত হয়।



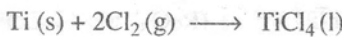
এর গলনাংক খুব উচ্চ, ঘনত্ব তুলনামূলকভাবে কম এবং যান্ত্রিক শক্তি খুবই বেশি। তাছাড়া ধাতু হিসেবে এটি খুবই নিষ্ক্রিয়। সাধারণ তাপমাত্রায় বাতাস এবং পানির দ্বারা এটি আক্রান্ত হয় না কিন্তু উচ্চ তাপমাত্রায় এদের সাথে বিক্রিয়া করে। উচ্চ শক্তি, কম ঘনত্ব এবং ক্ষয়রোধী গুণের জন্য শব্দের চেয়ে দ্রুতগামী বিমান, মহাকাশ যান এবং নিউক্লীয় চুল্লি প্রস্তুতের জন্য এটি খুবই উপযোগী ধাতু।

টিটানিয়ামের যৌগসমূহ (Compounds of titanium)

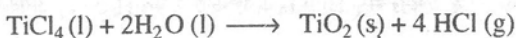
টিটানিয়ামের তিনটি জারণ অবস্থা রয়েছে : + 4, + 3 এবং + 2। এদের মধ্যে টিটানিয়াম (IV) যৌগগুলি সবচেয়ে বেশি গুরুত্বপূর্ণ।

টিটানিয়াম (IV) যৌগসমূহ

উত্তপ্ত টিটানিয়াম ধাতুর উপর দিয়ে অথবা উত্তপ্ত টিটানিয়াম (IV) অক্সাইড এবং কার্বনের মিশ্রণের উপর দিয়ে ক্লোরিন চালনা করে টিটানিয়াম (IV) ক্লোরাইড প্রস্তুত করা যায় :



এটি একটি সমযোজী তরল যা বাতাসে ধূমায়িত হয় এবং পানি দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে TiO_2 এবং HCl উৎপন্ন করে।



ক্লোরাইড আয়নের সাথে এটি $[TiCl_6]^{2-}$ জটিল আয়ন গঠন করে।

টাইটানিয়াম অ্যালুমিনিয়ামের সাথে মিশ্রিত অবস্থায় $TiCl_4$ অ্যালকিনের পলিমারাইজেশন বিক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

টিটানিয়াম (IV) অক্সাইড, TiO_2 , একটি সাদা আয়নিক পদার্থ যা তিনটি বিভিন্ন প্রকার কেলাস হিসেবে অবস্থান করে। রিউটাইল কেলাসে Ti^{4+} আয়ন অষ্টতলকীয়ভাবে ছয়টি O^{2-} আয়ন দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে।

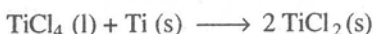
টিটানিয়াম (IV) অক্সাইড উত্তপ্ত ঘন সালফিউরিক এসিডে দ্রবীভূত হয়ে টিটানাইল সালফেট, $TiOSO_4$, গঠন করে। অতি উজ্জ্বল সাদা বর্ণ এবং রাসায়নিক নিষ্ক্রিয়তার জন্য টিটানিয়াম (IV) অক্সাইড একটি সাদা রঞ্জকপদার্থ হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

টিটানিয়াম (III) যৌগসমূহ

এসিডীয় দ্রবণে টিটানিয়াম (IV) যৌগগুলিকে জিংক দ্বারা বিজারিত করে $[Ti(H_2O)_6]^{3+}$ এর দ্রবণ পাওয়া যায়, যেমন হাইড্রোক্লোরিক এসিডে $TiCl_4$ এর দ্রবণকে জিংক দ্বারা বিজারিত করলে $TiCl_3$ পাওয়া যায়। আর্দ্র টিটানিয়াম (III) আয়ন, যা রক্তবর্ণের, বাতাসের দ্বারা সহজে জারিত হয়ে পুনরায় বর্ণহীন +4 জারণ অবস্থায় ফিরে আসে।

টিটানিয়াম (II) যৌগসমূহ

এগুলি উল্লেখযোগ্য যৌগ নয়। টিটানিয়াম টেটাক্লোরাইডকে টিটানিয়াম ধাতু দ্বারা বিজারিত করে টিটানিয়াম (II) ক্লোরাইড পাওয়া যায় :

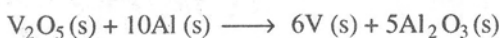


অন্যান্য টিটানিয়াম (II) যৌগের মত এটি একটি তীব্র বিজারক পদার্থ। বাতাস, এসিড এবং এমনকি পানি দ্বারাও এটি দ্রুত জারিত হয়। ফলে জলীয় দ্রবণে Ti^{2+} আয়ন সুস্থিত হয় না।

ভ্যানাডিয়াম (Vanadium)

ভ্যানাডিয়াম মৌল (The element vanadium)

কানোটাইট নামক আকরিক থেকে ভ্যানাডিয়াম পাওয়া যায়। এ আকরিকে পটাশিয়াম, ইউরেনিয়াম, ভ্যানাডিয়াম এবং অক্সিজেন থাকে। পর্যায়ক্রমে অনেকগুলি জটিল বিক্রিয়ার পর ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইড পাওয়া যায়। অতঃপর অ্যালুমিনিয়ামের সাথে বিক্রিয়া করে ভ্যানাডিয়াম পাওয়া যায় :



ভ্যানাডিয়ামের প্রধান ব্যবহার হলো আয়রনের অ্যালয় ফেরোভ্যানাডিয়াম প্রস্তুত করা।

সাধারণ তাপমাত্রায় ভ্যানাডিয়াম বাতাস, অ্যালকালি, এবং শীতল লঘু এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে না কিন্তু উত্তপ্ত লঘু HNO_3 এবং উত্তপ্ত ঘন H_2SO_4 এবং অ্যাকোয়া রিজিয়াতে দ্রবীভূত হয়।

ভ্যানাডিয়াম + 5, +4, +3 এবং +2 জারণ সংখ্যা দেখাতে পারে। লঘু সালফিউরিক এসিডে অ্যামোনিয়াম ভ্যানাডেট, $\text{NH}_4^+ \text{VO}_3^-$ এর দ্রবণে জিংক অ্যামালগাম যোগ করে জারণ সংখ্যাগুলির পরিবর্তন সহজে সনাক্ত করা যায়। দ্রবণটির বর্ণ বিভিন্ন জারণ অবস্থার জন্য হালকা হলুদ \rightarrow নীল \rightarrow সবুজ \rightarrow হালকা বেগুনি অনুক্রমে ধাপে ধাপে পরিবর্তিত হয়। ২.২ সারণিতে জলীয় দ্রবণে ভ্যানাডিয়ামের বিভিন্ন জারণ অবস্থা দেখানো হয়েছে।

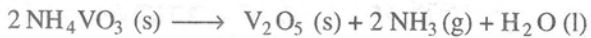
সারণি ২.২ : জলীয় দ্রবণে ভ্যানাডিয়ামের বিভিন্ন জারণ অবস্থা।

আয়ন	VO_3^{3-} মেটাভ্যানাডেট	VO_2^{2+} ভ্যানাডিয়াম (IV)	V^{3+} ভ্যানাডিয়াম (III)	V^{2+} ভ্যানাডিয়াম (II)
জারণ অবস্থা	+ 5	+ 4	+ 3	+ 2
বর্ণ	হালকা হলুদ	নীল	সবুজ	হালকা বেগুনি

ভ্যানাডিয়ামের যৌগসমূহ (Compounds of vanadium)

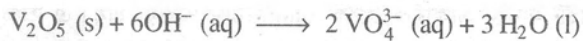
ভ্যানাডিয়াম (V) যৌগসমূহ

অ্যামোনিয়াম মেটাভ্যানাডেট, NH_4VO_3 -কে উত্তপ্ত করে ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইড, V_2O_5 প্রস্তুত করা যায় :



এটি একটি কমলা বর্ণের কঠিন পদার্থ এবং প্রধান ব্যবহার হলো স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 প্রস্তুত করা।

ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইডকে গাঢ় অ্যালকালি দ্রবণে দ্রবীভূত করে অর্থাভ্যানাডেট আয়ন, $\text{VO}_4^{3-}(\text{aq})$ পাওয়া যায়। উদাহরণ : V_2O_5 কে ঘন NaOH দ্রবণে দ্রবীভূত করে Na_3VO_4 পাওয়া যায় :



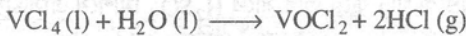
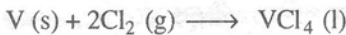
তীব্র এসিড দ্রবণে V_2O_5 দ্রবীভূত করলে VO_2^+ (aq) আয়ন পাওয়া যায় :



ভ্যানাডিয়াম (IV) যৌগসমূহ

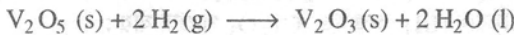
ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইডকে SO_2 দ্বারা বিজারিত করে ভ্যানাডিয়াম (IV) অক্সাইড, VO_2 পাওয়া যায়। বাতাসে উত্তপ্ত করলে এটি পুনরায় ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইডে পরিণত হয়।

ভ্যানাডিয়াম ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়া করে ভ্যানাডিয়াম টেট্রাক্লোরাইড, VCl_4 , উৎপন্ন করে। এটি একটি অন্ধকার-লাল তেল (স্ফুটনাঙ্ক 154°C) যা পানিতে অতি দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অক্সোভ্যানাডিয়াম (IV) ক্লোরাইড গঠন করে :



ভ্যানাডিয়াম (III) যৌগসমূহ

উত্তপ্ত ভ্যানাডিয়াম (V) অক্সাইডের উপর দিয়ে হাইড্রোজেন গ্যাস চালনা করে ভ্যানাডিয়াম (III) অক্সাইড, V_2O_3 প্রস্তুত করা যায় :



এটি একটি উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট কাল পদার্থ। রাসায়নিকভাবে এটি ক্ষারধর্মবিশিষ্ট এবং এসিডে দ্রবীভূত হয়ে সবুজ বর্ণের $\text{V (H}_2\text{O)}_6^{3+} (\text{aq})$ আয়ন গঠন করে।

সবচেয়ে বেশি পরিচিত V (III) লবণগুলির মধ্যে $\text{V}_2 (\text{SO}_4)_3$ উল্লেখযোগ্য। সঠিক পরিমাণ পটাশিয়াম সালফেট এবং $\text{V}_2 (\text{SO}_4)_3$ একত্রে মিশ্রিত করে জলীয় দ্রবণ থেকে কেলাসিত করলে একটি ফিটকিরি পাওয়া যায়।

বাতাসের উপস্থিতিতে ভ্যানাডিয়াম (III) যৌগগুলি পুনরায় জারিত হয়ে ভ্যানাডিয়াম (IV) যৌগে পরিণত হয়।

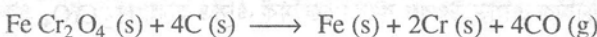
ভ্যানাডিয়াম (II) যৌগসমূহ

ভ্যানাডিয়াম (III) যৌগকে এসিড দ্রবণে জিংক দ্বারা বিজারিত করলে $\text{V (H}_2\text{O)}_6^{2+} (\text{aq})$ পাওয়া যায়। $\text{V}^{2+} (\text{aq})$ আয়ন অতি তীব্র বিজারক পদার্থ, এটি পানির সাথে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। কেবল তীব্র বিজারক পদার্থের উপস্থিতিতে (যেমন এসিড দ্রবণে জিংক অ্যামালগাম) $\text{V}^{2+} (\text{aq})$ এর দ্রবণ সুস্থিত থাকে।

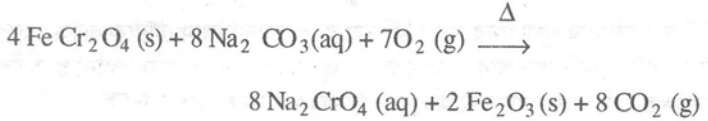
ক্রোমিয়াম (Chromium)

ক্রোমিয়াম মৌল (The element chromium)

ক্রোমিয়ামের প্রধান আকরিক হলো ক্রোমাইট, $\text{Fe Cr}_2 \text{O}_4$ । এই যৌগকে সরাসরি কার্বনের সাথে উত্তপ্ত করলে ফেরোক্রোম নামক আয়রন এবং ক্রোমিয়ামের একটি অ্যালয় পাওয়া যায় যা মরিচাহীন ইস্পাত তৈরির জন্য ব্যবহৃত হয় :



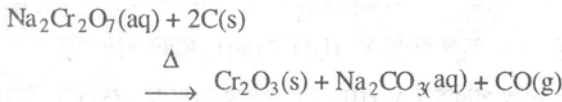
আকরিক থেকে বিশুদ্ধ ক্রোমিয়াম নিষ্কাশন বেশ জটিল। ক্রোমাইটকে চূর্ণ করে তার সাথে সোডিয়াম কার্বোনেট মিশিয়ে উচ্চ তাপমাত্রায় বাতাসে উত্তপ্ত করলে সোডিয়াম ক্রোমেট (VI) পাওয়া যায় :



সোডিয়াম ক্রোমেটকে গরম পানিতে দ্রবীভূত করে মিশ্রণ থেকে পৃথক করা হয় এবং বাষ্পীভূত করে দ্রবণকে গাঢ় করে তার সাথে H_2SO_4 মিশিয়ে এসিডীয় করা হয়। এ পর্যায়ে সোডিয়াম ক্রোমেট, সোডিয়াম ডাইক্রোমেটে পরিণত হয় :



দ্রবণ থেকে কেলাসন প্রক্রিয়ায় প্রথমে সোডিয়াম সালফেট এবং পরে সোডিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) পৃথক করা হয়। সোডিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) এর সাথে কার্বন মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড, Cr_2O_3 , পাওয়া যায় :



ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইডের সাথে অ্যালুমিনিয়াম চূর্ণ মিশিয়ে উত্তপ্ত করলে ধাতব ক্রোমিয়াম পাওয়া যায় :



ক্রোমিয়াম একটি অতি উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট অত্যন্ত কঠিন ধাতু। রাসায়নিকভাবেও এটি অতি নিষ্ক্রিয়। অ্যালয় স্টীল প্রস্তুতের জন্য এবং স্টীলের বিভিন্ন সামগ্রীর উপর চকচকে ক্ষয়রোধী আস্তরণ সৃষ্টির জন্য ক্রোমিয়াম ব্যবহার করা হয়।

ক্রোমিয়ামের পাঁচটি জারণ অবস্থা পাওয়া যায়। এগুলি হলো +2, +3, +4, +5 এবং +6। +2 জারণ অবস্থার উদাহরণ $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, +3 জারণ অবস্থার উদাহরণ $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, +4 জারণ অবস্থার উদাহরণ $[\text{Cr}(\text{O}-t-\text{Bu})_4]$, +5 জারণ অবস্থার উদাহরণ $[\text{CrO}_4]^{2-}$ এবং +6 জারণ অবস্থার উদাহরণ $[\text{CrO}_4]^{2-}$ ।

ক্রোমিয়ামের যৌগসমূহ (Compounds of chromium)

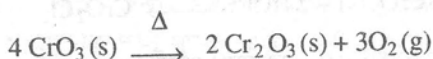
ক্রোমিয়াম (VI) যৌগসমূহ

ক্রোমিয়াম (VI) অক্সাইড, CrO_3

পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, এর শীতল গাঢ় দ্রবণে ঘন H_2SO_4 যোগ করে ক্রোমিয়াম (VI) অক্সাইডের লাল কেলাস পাওয়া যায়। এটি পানিতে অত্যন্ত দ্রবণীয়, পানির দ্রবণে এটি ক্রোমিক এসিড উৎপন্ন করে। ক্রোমিক এসিড হলো H_2CrO_4 এবং $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

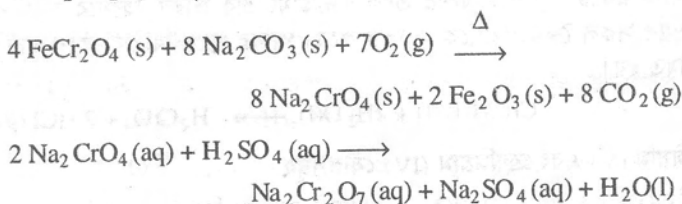
এর একটি মিশ্রণ। ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত কাচের যন্ত্রপাতি পরিষ্কার করার জন্য ক্রোমিক এসিড ব্যবহার করা হয়।

ক্রোমিয়াম (VI) অক্সাইড একটি অতি তীব্র জারক পদার্থ। উত্তপ্ত করলে এটি ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড, Cr_2O_3 এবং অক্সিজেন উৎপন্ন করে :

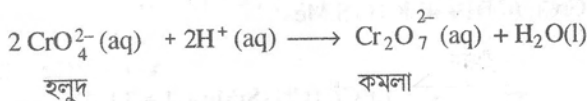


ক্রোমেট (VI) এবং ডাইক্রোমেট (VI) যৌগসমূহ

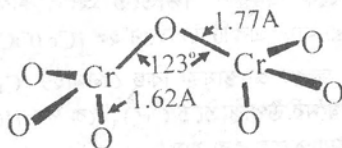
শিল্পক্ষেত্রে ক্রোমাইট, FeCr_2O_4 থেকে সোডিয়াম ক্রোমেট, Na_2CrO_4 এবং সোডিয়াম ডাইক্রোমেট, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ প্রস্তুত করা হয় :



ক্রোমেট (VI) আয়ন, CrO_4^{2-} কেবল ক্ষারীয় দ্রবণে সুস্থিত। এর রং হলুদ, এসিড যোগ করলে এটি কমলা বর্ণের ডাইক্রোমেট (VI) আয়ন, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ গঠন করে।



ক্রোমেট (VI) আয়নের আকৃতি চতুস্তলকীয় ; ডাইক্রোমেট (VI) আয়নের আকৃতি ২.২ চিত্রে দেখানো হয়েছে।

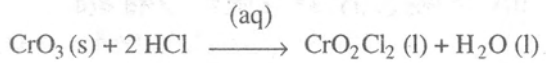


চিত্র ২.২ : ডাইক্রোমেট আয়নের আকৃতি।

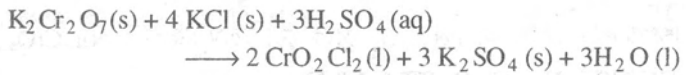
সোডিয়াম এবং পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) যৌগগুলি ল্যাবরেটরিতে বিকারক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। এরা জারক পদার্থ। সোডিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ নয়। কিন্তু পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) একটি প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ। আয়তনমিতিক বিশ্লেষণে পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) একটি প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

ক্রোমাইল ক্লোরাইড, CrO_2Cl_2

ক্রোমিয়াম (VI) অক্সাইডের সাথে গাঢ় HCl এর বিক্রিয়া করে ক্রোমাইল ক্লোরাইড প্রস্তুত করা যায় :



পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (VI) এর সাথে পটাশিয়াম ক্লোরাইড এবং ঘন H_2SO_4 এর বিক্রিয়া করেও এটি প্রস্তুত করা যায় :

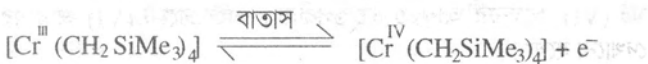


এটি একটি গাঢ় লাল বর্ণের তরল পদার্থ যা তীব্র জারক হিসেবে কাজ করে। এটি তীব্রভাবে সকল জৈব পদার্থকে জারিত করে। পানির সাথে বিক্রিয়া করে এটি দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়।



ক্রোমিয়াম (V) এবং ক্রোমিয়াম (IV) যৌগসমূহ

ক্রোমিয়ামের +5 এবং +4 জারণ অবস্থাগুলি অত্যন্ত বিরল। C, N এবং O এর সাথে বন্ধনযুক্ত কিছু যৌগে এরূপ জারণ অবস্থা পাওয়া যায়। +4 জারণ অবস্থার একটি উদাহরণ হলো $[\text{Cr}^{\text{IV}}(\text{CH}_2\text{SiMe}_3)_4]$ । নিচে এটির সংশ্লেষণ দেখানো হয়েছে :



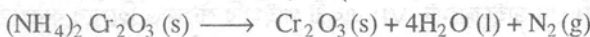
$\text{CrCl}_3(\text{thf})_3$ থেকে অনুরূপ পদ্ধতিতে অ্যালকোলাইড এবং ডাইঅ্যালক্যাল অ্যামাইডসমূহ প্রস্তুত করা যায়। একটি উদাহরণ হল $[\text{Cr}(\text{OCMe}_3)_4]$ ।

ক্রোমিয়ামের +5 জারণ অবস্থায়ুক্ত কিছু ক্রোমাইট (CrO_4^{3-}) যৌগ রয়েছে। 0°C উষ্ণতায় অ্যালকালি আয়নের উপস্থিতিতে CrO_3 -কে ঘন HCl দ্রবণ দ্বারা বিজারিত করে $\text{M}_2[\text{Cr}^{\text{V}}\text{OCl}_5]$ লবণসমূহ প্রস্তুত করা যায়।

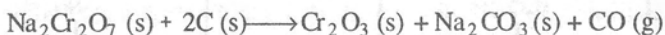
ক্রোমিয়াম (III) যৌগসমূহ

ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড, Cr_2O_3

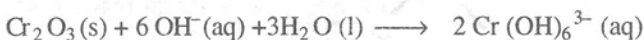
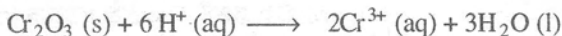
ক্রোমিয়ামকে অক্সিজেন গ্যাসে উত্তপ্ত করে অথবা অ্যামোনিয়াম ডাইক্রোমেট (VI)-কে উত্তপ্ত করে ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড, Cr_2O_3 প্রস্তুত করা যায় :



শিল্পক্ষেত্রে সোডিয়াম ডাইক্রোমেট, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ -কে কার্বন চূর্ণের সাথে উত্তপ্ত করে ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড উৎপন্ন করা হয় :

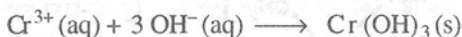


ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইড একটি অন্ধকার সবুজ কঠিন পদার্থ। অ্যালুমিনিয়াম (III) অক্সাইডের মত এর আয়নিক গঠন থাকে। এটি একটি অ্যামফোটেরিক পদার্থ। এসিডে দ্রবীভূত হয়ে এটি ক্রোমিয়াম (III) আয়ন দেয় এবং ঘন ক্ষার দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে ক্রোমেট (III) আয়ন দেয় :

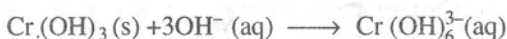


ক্রোমিয়াম (III) হাইড্রক্সাইড, $\text{Cr}(\text{OH})_3$

ক্রোমিয়াম (III) আয়নের সাথে ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে একটি সবুজ অধঃক্ষেপ হিসেবে ক্রোমিয়াম (III) হাইড্রক্সাইড, $\text{Cr}(\text{OH})_3$ পাওয়া যায় :

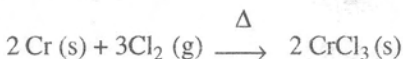


ক্রোমিয়াম (III) অক্সাইডের মত এটিও একটি অ্যামফোটেরিক যৌগ :



ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড, CrCl_3

অনার্দ্র ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড, CrCl_3 একটি লালচে-বেগুনি কঠিন পদার্থ। অধিক উত্তপ্ত ক্রোমিয়ামের উপর দিয়ে শুষ্ক ক্লোরিন গ্যাস চালনা করে এটি প্রস্তুত করা যায়।



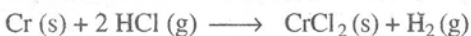
ক্রোমিয়াম (III) এর জটিল যৌগসমূহ

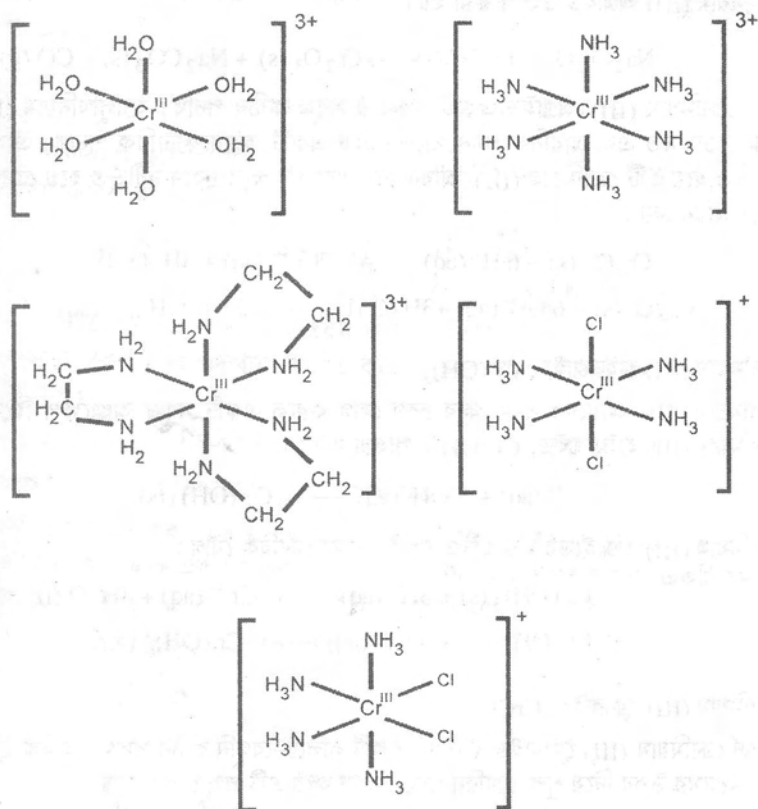
ক্রোমিয়াম (III) অনেকগুলি জটিল যৌগ গঠন করে। এরা সাধারণত অষ্টতলকীয় হয়। ২.৩ চিত্রে ক্রোমিয়াম (III) এর কয়েকটি জটিল যৌগের কাঠামো দেখানো হয়েছে।

ক্রোমিয়াম (II) যৌগসমূহ

ক্রোমিয়াম (II) যৌগসমূহ তুলনামূলকভাবে অনেক কম সুস্থিত। এরা তীব্র বিজারক পদার্থ।

উত্তপ্ত ক্রোমিয়ামের উপর দিয়ে শুষ্ক হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস চালনা করে ক্রোমিয়াম (II) ক্লোরাইড, CrCl_2 , প্রস্তুত করা যায় :

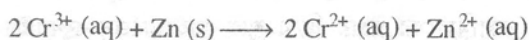




চিত্র ২.৩ : ক্রোমিয়াম (III)-এর কয়েকটি জটিল যৌগ।

এটি একটি সাদা কঠিন পদার্থ যা পানিতে দ্রবীভূত হয়ে নীল রং-এর $Cr^{2+}(aq)$ আয়ন গঠন করে।

জলীয় দ্রবণে $Cr^{3+}(aq)$ আয়নকে জিংক চূর্ণ দ্বারা বিজারিত করেও $Cr^{2+}(aq)$ আয়ন তৈরি করা যায়।



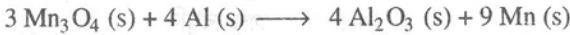
জলীয় দ্রবণে $Cr^{2+}(aq)$ আয়ন বাতাস দ্বারা সহজেই জারিত হয়ে $Cr^{3+}(aq)$ আয়ন গঠন করে।

ম্যাংগানিজ (Manganese)

ম্যাংগানিজ মৌল (The element manganese)

ম্যাংগানিজের দুটি আকরিক হলো পাইরোলুজাইট, MnO_2 এবং হাউসম্যানাইট, Mn_3O_4 । এদের মধ্যে প্রথমটি বেশি উল্লেখযোগ্য।

Mn_3O_4 কে অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা বিজারণ করে ম্যাংগানিজ পাওয়া যায় :



অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা MnO_2 এর বিজারণ বিপদজনকভাবে বিস্ফোরণ ঘটায়। এ কারণে MnO_2 প্রথমে বাতাসে তীব্রভাবে উত্তপ্ত করে Mn_3O_4 এ পরিণত করা হয় এবং তারপর Al দ্বারা বিজারিত করে ম্যাংগানিজ উৎপন্ন করা হয় :



ম্যাংগানিজের গলনাংক তুলনামূলকভাবে কম ($1247^\circ C$)। এর ঘনত্ব $7.42 g cm^{-3}$ । এটি একটি শক্ত কিন্তু ভঙ্গুর ধাতু এবং যদিও সাধারণ তাপমাত্রায় বাতাসের সাথে বিক্রিয়া করে না, এটি যথেষ্ট সক্রিয়। যেমন উত্তপ্ত অবস্থায় এটি অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, ক্লোরিন, সালফার ইত্যাদির সাথে বিক্রিয়া করে। উত্তপ্ত পানির সাথে বিক্রিয়া করেও এটি হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে। লঘু হাইড্রোক্লোরিক এসিড এবং সালফিউরিক এসিডেও এটি সহজে দ্রবীভূত হয়ে Mn^{2+} আয়ন এবং হাইড্রোজেন উৎপন্ন করে।

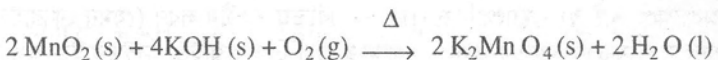
বিশুদ্ধ ম্যাংগানিজের ব্যবহার খুব কম, কারণ এটি ভঙ্গুর এবং পানি দ্বারা আক্রান্ত হয়। কিন্তু শিল্পক্ষেত্রে আয়রনের সাথে অ্যালয় প্রস্তুতের জন্য এটি প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

ম্যাংগানিজের জারণ অবস্থাসমূহ

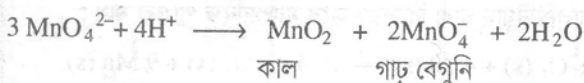
ম্যাংগানিজের জারণ অবস্থা +2, +3, +4, +6 এবং +7 হতে পারে। বিভিন্ন জারণ অবস্থা সংবলিত কয়েকটি ম্যাংগানিজ যৌগের উদাহরণ নিচে দেওয়া হয়েছে।

জারণ সংখ্যা	উদাহরণ
+ 2	MnO , $MnCl_2$, $MnSO_4$
+ 3	Mn_2O_3 , $Mn_2(SO_4)_3$
+ 4	MnO_2 , $MnCl_4$
+ 6	MnO_3 , K_2MnO_4
+ 7	Mn_2O_7 , $KMnO_4$

ম্যাংগানিজ (IV) অক্সাইডকে (MnO_2) বাতাসে পটাশিয়াম হাইড্রাইড (KH) অথবা KNO_3 -সহ উত্তপ্ত করলে পটাশিয়াম ম্যাংগানেট (VI) (K_2MnO_4) পাওয়া যায় :



এটি একটি সবুজ বর্ণের কঠিন পদার্থ এবং দ্রবণে কেবল ক্ষারের উপস্থিতিতে স্থায়ী হয়। এসিডীয় দ্রবণে ম্যাংগানেট (VI) আয়ন, MnO_4^{2-} অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া করে ম্যাংগানেট (VII) আয়ন, MnO_4^- এবং ম্যাংগানিজ (IV) অক্সাইড, MnO_2 উৎপন্ন করে। MnO_2 এর রং কাল কিন্তু MnO_4^{2-} আয়ন গাঢ় বেগুনি বর্ণের।



সালফিউরিক এসিড দ্রবণে আয়রন (II) লবণের সাথে পটাশিয়াম ম্যাংগানেট (VII) দ্রবণের বিক্রিয়া করলে ম্যাংগানিজের জারণ অবস্থা +7 থেকে +2 এ নেমে যায় :



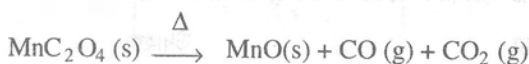
এ বিক্রিয়ার সাহায্যে অজ্ঞাত ঘনমাত্রার Fe^{2+} আয়নের দ্রবণে আয়রনের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়। বিক্রিয়ার ফলে গোলাপি বর্ণের MnO_4^- আয়ন বর্ণহীন Mn^{2+} আয়নে পরিণত হয়।

ম্যাংগানিজ যৌগসমূহ (Compounds of manganese)

ম্যাংগানিজ (II) যৌগসমূহ

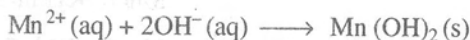
ম্যাংগানিজের সবচেয়ে বেশি সুস্থিত জারণ অবস্থা হলো +2। Mn^{2+} আয়নে 3d অরবিটালগুলির প্রতিটিতে একটি করে ইলেক্ট্রন উপস্থিত থাকার কারণে এটি খুবই সুস্থিত হয়।

ম্যাংগানিজ (II) অক্সাইড, MnO , একটি ধূসর-সবুজ কঠিন পদার্থ। ম্যাংগানিজ (II) অক্সালেটকে উত্তপ্ত করে এটি পাওয়া যায়। তাপীয় বিয়োজন থেকে উৎপন্ন কার্বন মনোক্সাইড একটি বিজারক হিসেবে ভূমিকা পালন করে।



এটি এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে লবণ উৎপন্ন করে কিন্তু ক্ষার দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে না। ফলে এটি একটি ক্ষারকীয় অক্সাইড যৌগ।

ম্যাংগানিজ (II) লবণের জলীয় দ্রবণে $NaOH$ যোগ করলে ম্যাংগানিজ হাইড্রক্সাইড পাওয়া যায় :



একে বাতাসে রাখলে এটি আর্দ্র ম্যাংগানিজ (II) অক্সাইডে ($Mn_2O_3 \cdot xH_2O$) পরিণত হয়। অ্যামোনিয়া এবং অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে ম্যাংগানিজ (II) লবণের জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড চালনা করলে ম্যাংগানিজ (II) সালফাইডের লালচে অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয়। ম্যাংগানিজ (II)-এর বিভিন্ন দ্রবণীয় লবণ (যেমন ক্লোরাইড, নাইট্রেট এবং সালফেট) প্রস্তুতের জন্য ম্যাংগানিজ (II) এর অক্সাইড, হাইড্রক্সাইড অথবা কার্বনেট লবণের সাথে উপযুক্ত এসিডের বিক্রিয়া করা হয়।

ম্যাংগানিজ (III) যৌগসমূহ

অক্সাইডসমূহ

যে কোনো ম্যাংগানিজ অক্সাইড অথবা হাইড্রক্সাইডকে 1000°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে Mn_3O_4 এর কাল কেলাস গঠিত হয়। এ যৌগটি একটি স্পাইনেল, $\text{Mn}^{\text{II}}\text{Mn}^{\text{III}}_2\text{O}_4$ । $\text{Mn}(\text{OH})_2$ কে বাতাসে জারিত হতে দিলে প্রথমে একটি আর্দ্র অক্সাইড গঠিত হয় যাকে শুষ্ক করলে $\text{MnO}(\text{OH})$ পাওয়া যায়।

আর্দ্র ম্যাংগানিজ (III) আয়ন

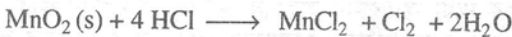
MnO_4^- আয়নকে বিজারিত করে অথবা Mn^{2+} আয়নের জলীয় দ্রবণকে পারঅক্সোডাই-সালফেট দ্বারা জারিত করে ম্যাংগানিজ (III) আয়ন পাওয়া যায়। মৃদু এসিড দ্রবণে Mn^{3+} আয়ন পানির সাথে অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া ঘটায় :



অ্যাসিটাইল অ্যাসিটোনের উপস্থিতিতে Mn^{2+} আয়নের ক্ষারীয় দ্রবণ O_2 অথবা Cl_2 দ্বারা জারিত হয়ে $\text{Mn}^{\text{III}}(\text{acac})_3$ গঠন করে।

ম্যাংগানিজ (IV) যৌগসমূহ

ম্যাংগানিজ (IV) এর সবচেয়ে পরিচিত যৌগ হলো ম্যাংগানিজ ডাইঅক্সাইড, MnO_2 । এটি একটি ধূসর থেকে কাল বর্ণের কঠিন পদার্থ। ম্যাংগানিজের সাথে অক্সিজেনের সরাসরি বিক্রিয়ায় এটি গঠিত হয়। KMnO_4 এর ক্ষারীয় দ্রবণকে বিজারিত করে আর্দ্র ম্যাংগানিজ (IV) অক্সাইড পাওয়া যায়। MnO_2 একটি জারক পদার্থ, হাইড্রোক্লোরিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে এটি ক্লোরিন উৎপন্ন করে :



110°C তাপমাত্রায় সালফিউরিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে এটি অক্সিজেন এবং Mn^{III} এসিড সালফেট উৎপন্ন করে। জৈব রসায়নে অ্যালকোহল এবং অন্যান্য যৌগকে জারিত করার জন্য আর্দ্র ম্যাংগানিজ ডাইঅক্সাইড ব্যবহার করা হয়।

ম্যাংগানিজ (VI) যৌগসমূহ

গাঢ় সবুজ ম্যাংগানেট আয়ন, MnO_4^{2-} এ ম্যাংগানিজ (VI) উপস্থিত থাকে। তাপ বিগলিত KOH এর মধ্যে MnO_2 কে KNO_3 অথবা বাতাস দ্বারা জারিত করে এ আয়ন প্রস্তুত করা যায়। কেবল তীব্র ক্ষারীয় দ্রবণে MnO_4^{2-} আয়ন সুস্থিত হয়। এসিড, নিরপেক্ষ অথবা দুর্বল ক্ষারীয় দ্রবণে এটি সহজে অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া করে বিয়োজিত হয় :

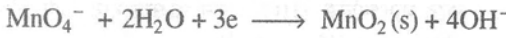


ম্যাংগানিজ (VII) যৌগসমূহ

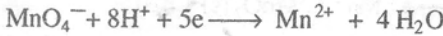
পারাম্যাংগানেট আয়ন, MnO_4^- এর লবণ হিসেবে ম্যাংগানিজ (VII) সুপরিচিত। K_2MnO_4 এর ক্ষারীয় দ্রবণকে ইলেকট্রোলাইটিক জারণ করে $KMnO_4$ প্রস্তুত করা যায়। PbO_2 অথবা $NaBiO_3$ এর মত অতি তীব্র জারক পদার্থ দ্বারা Mn^{2+} এর জলীয় দ্রবণকে জারিত করেও MnO_4^- আয়ন পাওয়া যায়। এ আয়নের জলীয় দ্রবণকে রক্তবর্ণের দেখায় এবং কেলাসিত লবণগুলিকে কৃষ্ণবর্ণের দেখায়। পারাম্যাংগানেট আয়ন এসিড দ্রবণে নিচের বিক্রিয়া অনুসারে ধীরে ধীরে বিয়োজিত হয়।



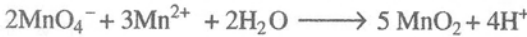
ক্ষারীয় দ্রবণে পারাম্যাংগানেট একটি শক্তিশালী জারক পদার্থ :



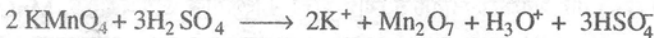
এসিড দ্রবণে অধিক পরিমাণ বিজারক পদার্থের সাথে বিক্রিয়া করে পারাম্যাংগানেট আয়ন বিজারিত হয়ে Mn^{2+} আয়ন গঠন করে :



কিন্তু যেহেতু MnO_4^- আয়ন Mn^{2+} আয়নকে জারিত করে সেজন্য অধিক পরিমাণ পারাম্যাংগানেট আয়নের উপস্থিতিতে MnO_2 গঠিত হয় :



গাঢ় H_2SO_4 দ্রবণে $KMnO_4$ যোগ করলে Mn_2O_7 গঠিত হয় :



কার্বন টেট্রাক্লোরাইডের মধ্যে একে নিষ্কাশিত করা যায়। জলীয় দ্রবণে এটি ম্যাংগানিক এসিড, $HMnO_4$ গঠন করে।

আয়রন (Iron)

আয়রন মৌল (The element Iron)

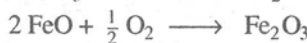
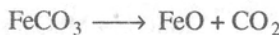
ভূত্বকে সকল ধাতুর মধ্যে আয়রনের অবস্থান দ্বিতীয়। পৃথিবীর 'কোর' (core) অংশটি প্রধানত Fe এবং Ni দ্বারা গঠিত। আয়রনের প্রধান আকরিকগুলি হলো হেমেটাইট (Fe_2O_3), ম্যাগনেটাইট (Fe_3O_4), লিমোনাইট ($FeO(OH)$) এবং সাইডেরাইট ($FeCO_3$)। আয়রন পাইরাইট (FeS_2) আয়রনের প্রয়োজনীয় উৎস নয়।

আয়রন নিষ্কাশনের মূলনীতি হলো আয়রন অক্সাইডকে কার্বন মনোক্সাইড দ্বারা বিজারিত করা :



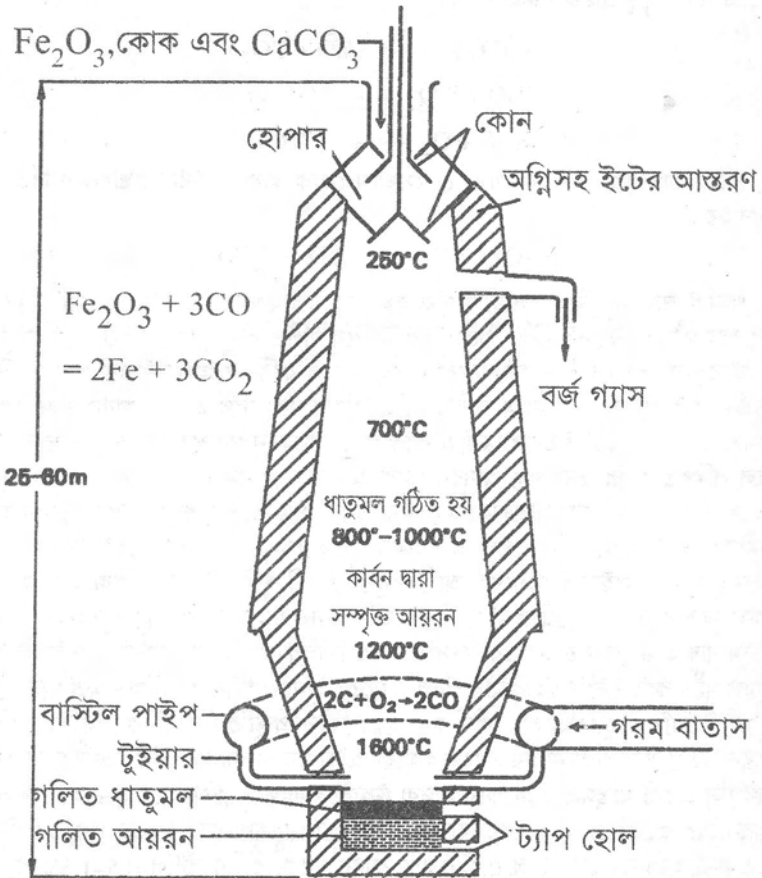
বাত্যাচুল্লি (blast furnace) নামক একটি চুল্লিতে এ বিজারণ বিক্রিয়াটি ঘটানো হয়।

ধাতু নিষ্কাশনের জন্য ব্যবহৃত আয়রন আকরিককে প্রথমে পানি দিয়ে ঝৌত করে এতে অবস্থিত বিভিন্ন অপদ্রব্য দূর করা হয়। তারপর একে তাপজারণ করে বিশুদ্ধ অক্সাইড পাওয়া যায়। আকরিকটি যদি $FeCO_3$ হয় তাহলে এটি তাপের ফলে প্রথমে FeO -এ পরিণত হয় এবং পরে বাতাসের অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে Fe_2O_3 -তে পরিণত হয় :



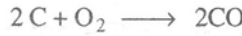
তাপজারিত আকরিকের সাথে পরিমাণ মত চূনাপাথর এবং কোক মিশিয়ে উপর থেকে বাত্যাচুল্লিতে প্রবেশ করানো হয় এবং বাত্যাচুল্লির নিচের দিক থেকে চুল্লির মধ্যে গরম বাতাস ঢোকানো হয়।

বাত্যাচুল্লিটি ইস্পাত-নির্মিত প্রায় 100 ফুট উঁচু এবং 25 ফুট ব্যাসের একটি লম্বা সিলিন্ডার। সিলিন্ডারের ভেতরের দিকে অগ্নিসহ মৃত্তিকার একটি আস্তরণ থাকে। এর উপর থেকে 'কাপ এবং কোন' ব্যবস্থার মাধ্যমে চূনাপাথর ও কোক মিশ্রিত অগ্নিহীন আকরিক যোগ করা হয় এবং নিচের দিকে 'টুইয়ার' নামক নলের মধ্য দিয়ে গরম বাতাস প্রবেশ করানো হয়। টুইয়ারের নিচে ধাতুমল বের করার জন্য একটি নির্গম পথ থাকে এবং এর থেকে আরো নিচে গলিত আয়রন বের করার জন্য একটি নির্গম পথ থাকে। ২.৪ চিত্রে একটি বাত্যাচুল্লি দেখানো হয়েছে।



চিত্র ২.৪ : আয়রন নিষ্কাশনের বাত্যাচুল্লি।

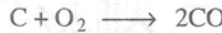
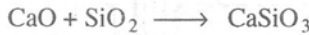
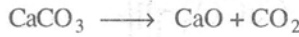
বাত্যাচুল্লির নিচের দিকে যেখানে কোক গরম বাতাসের সাথে জ্বলে উঠে সেখানে তাপমাত্রা প্রায় 1600°C হয়।



উপরের দিকে তাপমাত্রা ক্রমশ কমতে থাকে। চুল্লির যে অঞ্চলে তাপমাত্রা প্রায় 700°C থাকে সেখানে আয়রন অক্সাইড কার্বন মনোঅক্সাইড দ্বারা বিজারিত হয়ে আয়রন ধাতু উৎপন্ন করে :



আনুমানিক 800°C তাপমাত্রায় চুনাপাথর বিয়োজিত হয়ে ক্যালসিয়াম অক্সাইড এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড গঠন করে এবং ক্যালসিয়াম অক্সাইড আকরিকে উপস্থিত সিলিকার সাথে বিক্রিয়া করে ক্যালসিয়াম সিলিকেট নামক ধাতুমল গঠন করে। কার্বন ডাইঅক্সাইড কোকের সাথে বিক্রিয়া করে অধিক পরিমাণ কার্বন মনোঅক্সাইড সৃষ্টি করে।



চুল্লির তাপমাত্রা যেখানে 1200°C সেখানে কোক দ্বারা আয়রন অক্সাইডের বিজারণ সম্পূর্ণ হয় :



গলিত আয়রন চুল্লির তলদেশে জমা হয় এবং উপরে গলিত ধাতুমল CaSiO_3 একটি পৃথক স্তর গঠন করে। দুটি নির্গম পথের একটি দিয়ে গলিত ধাতু এবং অপরটি দিয়ে ধাতুমল বের করে নেয়া হয়। গলিত আয়রনকে শীতল করলে কঠিন আয়রন পাওয়া যায় যা পিগ আয়রন বা কাস্ট আয়রন নামে পরিচিত। এ আয়রনের সাথে 4.5% কার্বন এবং অল্প পরিমাণ Si, P, S, Mn ইত্যাদি মিশ্রিত থাকে। পিগ আয়রন খুব শক্ত কিন্তু অত্যন্ত ভঙ্গুর। স্টীলে পরিণত করার জন্য পিগ আয়রন থেকে অধিকাংশ কার্বন এবং সিলিকন, ফসফরাস, সালফার ইত্যাদি অধাতব মৌলগুলিকে কোনো একটি পদ্ধতিতে মুক্ত করা হয়। ওপেন হার্ব পদ্ধতিতে এটি করার জন্য পিগ আয়রনের সাথে Fe_2O_3 মিশিয়ে ক্যালসিয়াম এবং ম্যাগনেসিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণের আন্তরণযুক্ত একটি চুল্লিতে উত্তপ্ত করা হয়, জারণ প্রক্রিয়া দ্রুত করার জন্য চুল্লির মধ্যে বিশুদ্ধ অক্সিজেনও চালনা করা হয়। অধিকাংশ কার্বন কার্বনমনোঅক্সাইডে পরিণত হয় এবং ফসফরাস ও সিলিকন যথাক্রমে ফসফেট ও সিলিকেট ধাতুমল গঠন করে। ঈষ্পিত প্রকৃতির স্টীল প্রস্তুতের জন্য শেষ দিকে পরিমাণ মত Mn, Cr, Ni, W ইত্যাদি ধাতুর অ্যালয় যোগ করা হয়। স্টীল প্রস্তুতের আধুনিক পদ্ধতিতে পিগ আয়রন উত্তপ্ত করে গলানো হয় এবং এর মধ্যে অক্সিজেন চালনা করা হয়। জারিত ভেজাল পদার্থগুলি একটি ধাতুমল গঠন করে অথবা উদ্বায়ী পদার্থে পরিণত হয়ে মুক্ত হয়। গলিত আয়রন বের করে নিয়ে তার সাথে বিভিন্ন ধাতুর অ্যালয় যোগ করে বিভিন্ন প্রকৃতির স্টীল প্রস্তুত করা হয়। নমনীয় স্টীলে 0.1–0.4% কার্বন থাকে; কঠিন স্টীলে 0.5–1.5% কার্বন এবং অন্যান্য ধাতু মিশ্রিত থাকে। উদাহরণস্বরূপ, স্টেনলেস স্টীলে আনুমানিক 18% Cr,

টাংস্টেন স্টীলে আনুমানিক 5% W এবং ম্যাংগানিজ স্টীলে আনুমানিক 13% Mn উপস্থিত থাকে।

বিশুদ্ধ আয়রন যথেষ্ট সক্রিয়। ভিজা বাতাসে এটি দ্রুত জারিত হয়ে আর্দ্র আয়রন (III) অক্সাইড (মরিচা) গঠন করে। লঘু খনিজ এসিডে আয়রন দ্রবীভূত হয়। জারণ-ক্ষমতাহীন এসিড দ্রবণে বাতাসের অনুপস্থিতিতে Fe^{2+} আয়ন পাওয়া যায়। বাতাসের উপস্থিতিতে অথবা উষ্ণ লঘু HNO_3 এর সাথে আয়রন কিছু পরিমাণ Fe^{3+} আয়ন গঠন করে। বায়ুমুক্ত পানি এবং বায়ুমুক্ত লঘু ক্ষার দ্রবণের সাথে আয়রনের বিক্রিয়া হয় না, কিন্তু উত্তপ্ত গাঢ় NaOH দ্রবণের সাথে আয়রন বিক্রিয়া করে। গাঢ় HNO_3 আয়রনকে নিষ্ক্রিয় করে।

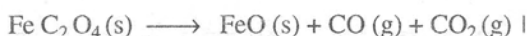
আয়রনের যৌগসমূহ (Compounds of iron)

আয়রনের প্রধান দুটি জারণ অবস্থা হলো +2 এবং +3। +2 জারণ অবস্থায়ুক্ত আয়রন যৌগ বিজারক হিসেবে এবং +3 জারণ অবস্থায়ুক্ত আয়রন যৌগ জারক হিসেবে কাজ করে। Fe^{3+} আয়নে পাঁচটি এক-ইলেক্ট্রনযুক্ত d অরবিটালের উপস্থিতি এবং Fe^{2+} আয়নে কেবল চারটি এক-ইলেক্ট্রনযুক্ত d অরবিটালের উপস্থিতি Fe^{2+} আয়নের সহজে Fe^{3+} আয়নে জারিত হওয়ার একটি কারণ। আয়রনের আর দুটি অপ্রচলিত জারণ অবস্থা হলো +4 এবং +6, এরা শক্তিশালী জারক পদার্থ।

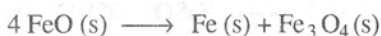
আয়রন (II) যৌগসমূহ (Iron (II) compounds)

আয়রন (II) অক্সাইড, FeO

আয়রন (II) অক্সাইডকে উত্তপ্ত করে একটি কাল কঠিন পদার্থ হিসেবে আয়রন (II) অক্সাইড পাওয়া যায়। এ বিক্রিয়ায় সৃষ্ট কার্বন মনোক্সাইড একটি বিজারক আবহাওয়া সৃষ্টি করে, ফলে বাতাস দ্বারা জারিত হয়ে আয়রন (III) অক্সাইড গঠনের সুযোগ পাওয়া যায় না :

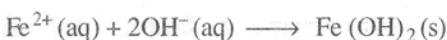


এটি একটি অ-স্টয়চিওমেট্রিক (non-stoichiometric) যৌগ। নিষ্ক্রিয় আবহাওয়ায় উচ্চ তাপে উত্তপ্ত করে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা হতে দিলে এটি অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া দেয় :



আয়রন (II) হাইড্রক্সাইড, Fe(OH)₂

বিশুদ্ধ অবস্থায় আয়রন (II) হাইড্রক্সাইড একটি সাদা কঠিন পদার্থ কিন্তু আয়রন (II) জলীয় আয়নের দ্রবণে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্রবণ যোগ করলে একটি সবুজ, নরম, আঠাল অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়।



প্রস্তুতকালে বাতাস দ্বারা জারিত হয়ে কিছু পরিমাণ $Fe(OH)_3$ গঠিত হয় বলে একে সবুজ দেখা যায়। অনেক সময়ের জন্য বাতাসে রেখে দিলে সবটুকু আয়রন (II) হাইড্রক্সাইড আয়রন (III) হাইড্রক্সাইডে পরিণত হয়।

আয়রন (II) হাইড্রক্সাইড লঘু এসিডে দ্রবীভূত হয়ে $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়ন গঠন করে, আবার উত্তপ্ত এবং গাঢ় NaOH দ্রবণেও এটি দ্রবীভূত হয়ে $[\text{Fe}(\text{OH})_6]^{4-}$ আয়ন গঠন করে। ফলে $\text{Fe}(\text{OH})_2$ এর অ্যামফোটেরিক ধর্ম রয়েছে।

আয়রন (II) হ্যালাইড

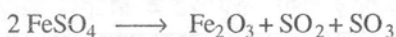
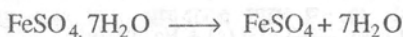
উত্তপ্ত আয়রনের উপর দিয়ে হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস প্রবাহিত করে FeCl_2 প্রস্তুত করা যায়। একই পদ্ধতিতে হাইড্রোজেন ফ্লোরাইড ব্যবহার করে FeF_2 প্রস্তুত করা যায়। উভয় হ্যালাইড যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয় যেখান থেকে $\text{FeF}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ এবং $\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ স্ফটিকাকারে পৃথক করা যায়। আর্দ্র অথবা অনার্দ্র যে অবস্থাতেই থাকুক না কেন আয়রন (II) ফ্লোরাইড এবং আয়রন (II) ক্লোরাইড উভয়ই আয়নিক কঠিন পদার্থ।

আয়রনকে ব্রোমিন বাষ্পে উত্তপ্ত করে আয়রন (II) ব্রোমাইড পাওয়া যায়। আয়রন (III) ব্রোমাইডের উৎপাদন যাতে না হতে পারে সেজন্য অধিক পরিমাণ আয়রন ব্যবহার করা হয়। একই পদ্ধতিতে আয়রন (II) আয়োডাইড প্রস্তুত করা যায়। যেহেতু আয়রন (III) আয়োডাইড কখনো গঠিত হয় না সেজন্য এক্ষেত্রে অধিক পরিমাণ আয়রন ব্যবহার করার প্রয়োজন হয় না।

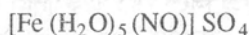
আয়রন (II) সালফেট

আয়রনের সাথে পাতলা সালফিউরিক এসিড দ্রবণ বিক্রিয়া করে আয়রন (II) সালফেট উৎপন্ন করে। দ্রবণ থেকে কেলাসন করে $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ কেলাস পাওয়া যায়। যেহেতু আয়রন (II) লবণগুলি সহজে জারিত হয়ে আয়রন (III) লবণে পরিণত হয়, সেজন্য আয়রন (II) লবণ প্রস্তুতকালে দ্রবণের উপর একটি বিজারণকারী গ্যাসের আবহাওয়া সৃষ্টি করা হয়।

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -কে সাবধানে উত্তপ্ত করে FeSO_4 পাওয়া যায়, কিন্তু অধিক উত্তপ্ত করলে Fe_2O_3 , SO_2 এবং SO_3 গঠিত হয় :



আয়রন (II) সালফেটের দ্রবণ হালকা সবুজ, কিন্তু নাইট্রিক অক্সাইডের উপস্থিতিতে একটি বাদামি যৌগ গঠন করে, এর সংকেত নিম্নরূপ :



আয়নিক নাইট্রেট যৌগ সনাক্ত করার বলয় পরীক্ষায় এ যৌগটি গঠিত হয়।

শিল্প কারখানায় ব্যবহৃত বিভিন্ন রাসায়নিক বস্তুর মধ্যে আয়রন (II) সালফেট একটি সস্তা বস্তু। আয়রন (III) অক্সাইড, প্রুসিয়ান ব্লু এবং কালি প্রস্তুতের জন্য এটি ব্যবহৃত হয়।

আয়রন (II) অ্যামোনিয়াম সালফেট, $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

সম মোলার পরিমাণ আয়রন (II) সালফেট এবং অ্যামোনিয়াম সালফেট-এর একটি মিশ্রণের দ্রবণকে কেলাসিত করে এ দ্বি-লবণটি প্রস্তুত করা যায়। এটি বাতাসে রাখলেও আর্দ্র আয়রন (II) সালফেটের মত জারিত হয় না। আয়তনমিতিক বিশ্লেষণে একে একটি প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

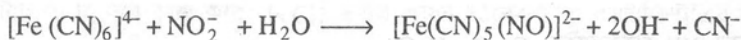
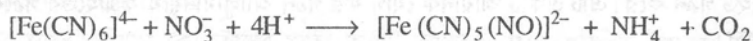
আয়রন (II) জটিলসমূহ

আয়রন (II) অনেকগুলি জটিল যৌগ গঠন করে। অধিকাংশ যৌগ অষ্টতলকীয়, যদিও কতিপয় চতুস্তলকীয় হ্যালাইড জটিল $[\text{FeX}_4]^{2-}$ গঠিত হয়।

সবচেয়ে অধিক পরিচিত জটিলটি হলো হেব্রাসায়ানো ফেরেট (II) অথবা ফেরোসায়ানাইড আয়ন $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ । পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ একটি হলুদ কঠিন পদার্থ। আয়রন (II) লবণের দ্রবণে CN^- -আয়ন যোগ করে $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ আয়ন প্রস্তুত করা যায়। দ্রবণে আয়রনের উপস্থিতি সনাক্ত করার জন্য পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড ব্যবহার করা হয়। Fe^{2+} আয়ন একটি সাদা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে যার সংকেত $\text{K}_2\text{Fe}^{\text{II}} [\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$, কিন্তু Fe^{3+} আয়ন গাঢ় নীল $\text{KFe}^{\text{III}} [\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ সৃষ্টি করে যা প্রসিয়ান ব্লু নামে পরিচিত।

দ্রবণে Cu^{2+} আয়নের পরিমাণ সঠিকভাবে নির্ণয়ের জন্য পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড যোগ করে লাল-বাদামি জটিল $[\text{Cu}^{\text{II}}_2[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]]$ এর অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করা হয়।

আয়রনের অধিক পরিচিত আর একটি জটিল হলো সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড, $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NO})]$ । এ জটিলে একটি NO^+ লিগ্যান্ড উপস্থিত থাকে। একটি ফেরোসায়ানাইড জটিলের সাথে 30% HNO_3 অথবা একটি নাইট্রাইট লবণের বিক্রিয়া করে বাদামি-লাল বর্ণের সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড পাওয়া যায় :



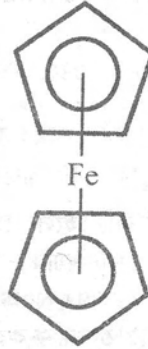
সোডিয়াম নাইট্রোপ্রুসাইড সালফাইড আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে লাল বর্ণের $[\text{Fe}(\text{CN})_5(\text{NOS})]^{4-}$ গঠন করে। সালফাইড আয়ন সনাক্ত করার জন্য একে ব্যবহার করা হয়।



ইথিলিনডাইঅ্যামিন, 2, 2' ডাইপিরিডিল এবং 1, 10- ফিন্যানথ্রোলিন লিগ্যান্ডগুলি আয়রনের সাথে সুস্থিত অষ্টতলকীয় জটিল গঠন করে। লাল বর্ণের 2, 2' - ডাইপিরিডিল এবং 1, 10- ফিনালথ্রোলিন জটিলগুলি Fe^{2+} আয়ন সনাক্তকরণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

আয়রন (II) কতিপয় চতুস্তলকীয় জটিল গঠন করে, যেমন $[\text{FeCl}_4]^{2-}$ ।

আয়রন (II)-এর একটি উল্লেখযোগ্য যৌগ হলো ফেরোসিন (চিত্র ২.৫)।

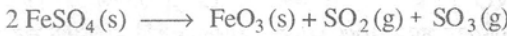


চিত্র ২.৫ : ফেরোসিনের কাঠামো।

আয়রন (III) যৌগসমূহ

আয়রন (III) অক্সাইড, Fe_2O_3

প্রাকৃতিকভাবে হেমাটাইট হিসেবে আয়রন (III) অক্সাইড পাওয়া যায়। আয়রন (III) হাইড্রক্সাইড অথবা আয়রন (II) সালফেটকে উত্তপ্ত করে এটি প্রস্তুত করা যায় :



উল্লেখ্য যে, উপরের বিক্রিয়ায় আয়রন (II) সালফেট জারিত হয়ে আয়রন (III) অক্সাইড গঠন করে। এটি একটি আয়নিক যৌগ যার গঠন অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের গঠনের অনুরূপ।

আয়রন (III) হাইড্রক্সাইড, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$

আয়রন (III) হাইড্রক্সাইড প্রকৃতপক্ষে অসংখ্য পানির অণুযুক্ত আয়রন (III) অক্সাইড। জলীয় দ্রবণে আয়রন (III) আয়ন এবং হাইড্রক্সাইড আয়ন একত্রে মিশ্রিত করলে এটি একটি পিচ্ছিল অধঃক্ষেপ হিসেবে পাওয়া যায়। লঘু এসিড দ্রবণের সাথে এটি সহজে বিক্রিয়া করে একটি আয়রন (III) লবণ উৎপন্ন করে। আবার গাঢ় ক্ষার দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করেও একটি ফেরেট (III) লবণ [যেমন $\text{NaFe}(\text{OH})_4$] উৎপন্ন করে। এসিড এবং ক্ষার উভয়ের সাথে বিক্রিয়া করে বলে আয়রন(III) হাইড্রক্সাইড একটি অ্যামফোটারিক পদার্থ।

অধিক পরিমাণ ফুটন্ত পানিতে কয়েক ফোঁটা আয়রন (III) ক্লোরাইড দ্রবণ যোগ করলে আয়রন (III) হাইড্রক্সাইডের একটি কলোয়েড দ্রবণ পাওয়া যায়।

ট্রাই-আয়রন টেট্রাক্সাইড, Fe_3O_4

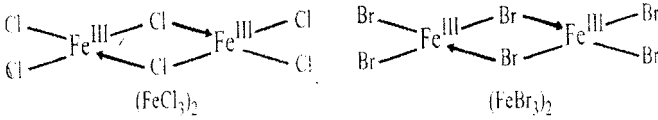
এ অক্সাইড একটি ম্যাগনেটিক পদার্থ যা প্রাকৃতিকভাবে ম্যাগনেটাইট আকরিক হিসেবে পাওয়া যায়। এটি একটি কাল কঠিন পদার্থ। উত্তপ্ত আয়রনের উপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে এটি গঠিত হয়। এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে এটি 1 : 2 অনুপাতে আয়রন (II) এবং আয়রন (III) লবণ উৎপন্ন করে। এ থেকে প্রমাণিত হয় ট্রাইআয়রন টেট্রাক্সাইডে 1 : 2 অনুপাতে Fe^{2+} এবং Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত থাকে ($Fe^{II}O \cdot Fe^{III}_2O_3$)।

আয়রন (III) হ্যালাইডসমূহ

সঠিক হ্যালাজেনের উপস্থিতিতে আয়রন উত্তপ্ত করে আয়রন(III) ক্লোরাইড, ব্রোমাইড এবং ইয়োডাইড প্রস্তুত করা যায়। আয়োডাইড আয়নের বিজারণ ধর্মের কারণে বিশুদ্ধ আয়রন (III) আয়োডাইড পৃথক করা যায় না।



আয়রন(III) ক্লোরাইড এবং আয়রন(III) ব্রোমাইড উভয়েই কাল-লাল বর্ণের সমযোজী কঠিন পদার্থ। গ্যাসীয় অবস্থায় এদেরকে ডাইমার হিসেবে পাওয়া যায় (চিত্র ২.৬)।



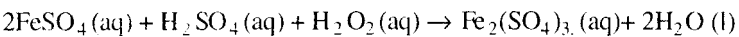
চিত্র ২.৬ : আয়রন (III) ক্লোরাইড এবং আয়রন (III) ব্রোমাইডের ডাইমার কাঠামো।

উত্তপ্ত করলে উভয় যৌগই আয়রন (II) হ্যালাইড এবং হ্যালাজেনে পরিণত হয়। জলীয় দ্রবণ থেকে কেলাসিত করে আয়রন (III) হ্যালাইড হেক্সাহাইড্রেট পাওয়া যায়।
উদাহরণ : $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ।

অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইডের মতো অনার্দ্র আয়রন (III) ক্লোরাইড ফ্রিডেল-ক্রাফট ক্যাটালিস্ট হিসেবে কাজ করে। $FeCl_4^{-}$ জটিল আয়ন গঠনের উপর ক্যাটালিস্ট এর কাজ নির্ভর করে।

আয়রন (III) সালফেট, $Fe_2(SO_4)_3$

আয়রন (II) সালফেটের এসিডযুক্ত জলীয় দ্রবণকে হাইড্রোজেন পারঅক্সাইডসহ উত্তপ্ত করলে সহজে আয়রন (III) সালফেট গঠিত হয় :



প্রাপ্ত দ্রবণকে কেলাসিত করে $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ হাইড্রেট যৌগ পাওয়া যায়।

আয়রন (III) সালফেট ফিটকিরি গঠন করে, সবচেয়ে বেশি পরিচিত হলো অ্যামোনিয়াম আয়রন (III) সালফেট, $NH_4^{+} Fe^{3+} (SO_4^{2-})_2 \cdot 12H_2O$ ।

আয়রন (III) জটিলসমূহ

অধিকাংশ আয়রন(III) জটিলের আকৃতি অষ্টতলকীয়, কিন্তু কিছু সংখ্যক চতুস্তলকীয় এবং বর্গ পিরামিডীয় জটিলও গঠিত হয়।

নাইট্রোজেন দাতা লিগ্যান্ডগুলির তুলনায় অক্সিজেন দাতা লিগ্যান্ডগুলির আয়রন (III) এর সাথে জটিল গঠনের প্রবণতা বেশি। জলীয় দ্রবণে NH_3 এর সাথে গঠিত জটিল সুস্থিত নয়। তবে ডাইপিরিডিল এবং 1,10 ফিনানথ্রোলিন আয়রন (III) এর সাথে সুস্থিত জটিল গঠন করে।

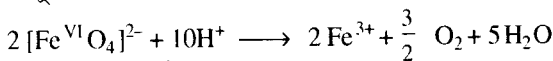
অক্সিজেন দাতা লিগ্যান্ডসমূহ (যেমন ফসফেট আয়ন, পলিফসফেট আয়নসমূহ এবং গ্লিসারল ও সুগারের মত পলিঅলসমূহ) আয়রন(III) এর সাথে অতি সুস্থিত জটিল গঠন করে। অক্সালেট আয়ন ট্রাইঅক্সালেটো জটিল $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ গঠন করে, এবং β -ডাইকিটোনগুলির সাথে চার্জ নিরপেক্ষ $[\text{Fe}(\text{diketone})_3]$ জটিল গঠিত হয়। আয়রন (III) আয়নের দ্রবণে β -ডাইকিটোন যোগ করলে যে জটিল গঠিত হয় তার গাঢ় রং দ্বারা আয়রন (III) সনাক্ত করা যায়।

Fe^{3+} আয়ন সনাক্ত করার একটি সহজ পদ্ধতি হলো Fe^{3+} আয়নের দ্রবণে SCN^- আয়ন যোগ করা। এ দুটি আয়ন বিক্রিয়া করে একটি গাঢ় লাল বর্ণের দ্রবণ সৃষ্টি করে যা $[\text{Fe}(\text{SCN})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ আয়ন এবং কিছু পরিমাণ $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ ও $[\text{Fe}(\text{SCN})_4]^-$ আয়ন গঠনের ফলে হয়ে থাকে। Fe^{3+} আয়নের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্যও এ বর্ণ পরীক্ষাটি ব্যবহার করা যায়। F^- আয়ন যোগ করে বর্ণটি ধ্বংস করা যায়। থায়োসায়ানেটো জটিলগুলির সাথে F^- আয়ন $[\text{FeF}_6]^{3-}$ আয়ন গঠন করে বলেই বর্ণ অদৃশ্য হয়।

আয়রন (IV) এবং আয়রন (VI) যৌগসমূহ

আয়রন (IV) অল্প কিছু সংখ্যক যৌগ গঠন করে, উদাহরণ : $[\text{Fe}^{\text{IV}}(\text{S}_2\text{CNR}_2)_3]^+$, $[\text{Fe}^{\text{IV}}(\text{diars})_2\text{Cl}_2]^{2+}$ এবং $[\text{Fe}(1\text{-norbornyl})_4]^+$ ।

আয়রন (VI) এর সবচেয়ে অধিক পরিচিত যৌগ হলো অক্সো অ্যানায়ন $[\text{Fe}^{\text{VI}}\text{O}_4]^{2-}$ । $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ কে Fe চূর্ণ এবং KNO_3 এর সাথে উত্তপ্ত করে বিগলিত করলে এটি গঠিত হয়। রক্ত বর্ণের এ আয়নটিতে দুটি জোড়হীন ইলেক্ট্রন উপস্থিত থাকায় এটি প্যারাম্যাগনেটিক প্রকৃতিবিশিষ্ট হয়। এর Na এবং K লবণ পানিতে দ্রবণীয় কিন্তু Ba লবণকে অধঃক্ষেপ হিসেবে পাওয়া যায়। আয়নটি ক্ষারীয় দ্রবণে সুস্থিত কিন্তু চার্জ নিরপেক্ষ বা এসিড দ্রবণে নিচের সমীকরণ অনুসারে বিয়োজিত হয় :



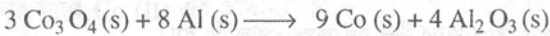
এটি KMnO_4^- অপেক্ষাও তীব্র জারক পদার্থ এবং NH_3 কে জারিত N_2 ও Cr^{2+} কে জারিত করে CrO_4^{2-} আয়নে পরিণত করতে পারে।

কোবাল্ট (Cobalt)

কোবাল্ট মৌল (The element cobalt)

কোবাল্টের প্রধান উৎস হলো স্মলটাইট, CoAs_2 এবং কোবাল্টাইট CoAsS । এরা উভয়েই নিকেল আকরিকের সাথে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে, নিকেলের সাথে কোবাল্টের অনেক বিষয়ে মিল থাকার কারণে এরূপ হয়।

অনেকগুলি জটিল ধাপের মাধ্যমে শেষ পর্যন্ত ট্রাইকোবাল্ট টেট্রাক্সাইড, Co_3O_4 পাওয়া যায়। অতঃপর এ অক্সাইডকে কোক অথবা অ্যালুমিনিয়াম দ্বারা বিজারিত করে কোবাল্ট নিষ্কাশিত করা হয় :



কোবাল্ট (II) সালফেট এবং অ্যামোনিয়াম সালফেটের একটি মিশ্রণের জলীয় দ্রবণকে তড়িৎ বিশ্লেষণ করে বিশুদ্ধ কোবাল্ট পাওয়া যায়।

কোবাল্টের গলনাংক 1490°C এবং ঘনত্ব 8.90 g/cm^3 । এটি একটি শক্ত, নীলাভ-সাদা ধাতু যা মোটামুটি নিষ্ক্রিয়, যেমন সাধারণ তাপমাত্রায় এটি বাতাস ও পানি দ্বারা আক্রান্ত হয় না। উচ্চ তাপমাত্রায় অক্সিজেন কোবাল্টকে আক্রমণ করে কোবাল্ট (II) অক্সাইড, CoO , গঠন করে। উত্তপ্ত করলে কোবাল্ট সরাসরি কার্বন এবং অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়। হাইড্রোক্সিক এসিড এবং সালফিউরিক এসিডের লঘু দ্রবণ কোবাল্টের সাথে ধীর গতিতে বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন এবং কোবাল্ট (II) আয়ন, $\text{Co}^{2+} (\text{aq})$, গঠন করে। ঘন নাইট্রিক এসিড ধাতুটিকে নিষ্ক্রিয় করে, কিন্তু লঘু নাইট্রিক এসিড কোবাল্টের সাথে বিক্রিয়া করে কোবাল্ট (II) আয়ন এবং নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইড উৎপন্ন করে।

কোবাল্ট, ক্রোমিয়াম এবং টাংস্টেন দ্বারা গঠিত স্টেলাইট নামক অ্যালয় লোহিত তপ্ত অবস্থাতেও অত্যন্ত শক্ত; অন্তর্দহন ইঞ্জিনের কতিপয় অংশ প্রস্তুতের জন্য এটি ব্যবহৃত হয়। অ্যালুমিনিয়াম, কোবাল্ট এবং নিকেল দ্বারা গঠিত অ্যালনিকো অ্যালয় অতি মজবুত স্থায়ী চুম্বক প্রস্তুতের জন্য ব্যবহৃত হয়। বৈদ্যুতিক তাপ উৎপাদক উপাদান প্রস্তুতের জন্য কোবাল্ট এবং নিকেল দ্বারা গঠিত নিক্রোম অ্যালয় ব্যবহৃত হয়।

কোবাল্টের যৌগসমূহ (Compounds of cobalt)

কোবাল্টের দুটি প্রধান জারণ অবস্থা হলো +2 এবং +3। কোবাল্ট (II) যৌগগুলি চতুস্তলকীয় এবং অষ্টতলকীয় উভয় আকৃতির হতে পারে, যেমন $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ এবং $\text{CoCl}_2 \cdot (\text{PEt}_3)_2$ উভয়েই চতুস্তলকীয়, আবার $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ অষ্টতলকীয়। কোবাল্ট (III) যৌগগুলি প্রধানত অষ্টতলকীয় হয়, উদাহরণ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ।

কোবাল্ট (II) যৌগসমূহ

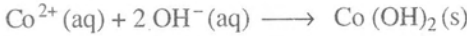
লঘু এসিড দ্রবণে ধাতব কোবাল্ট অথবা হাইড্রক্সাইড অথবা কার্বোনেট দ্রবীভূত হয়ে গোলাপি বর্ণের $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়ন সৃষ্টি করে যা অনেক লবণ গঠন করে।

কোবাল্ট (II) অক্সাইড, CoO একটি জলপাই-সবুজ কঠিন পদার্থ। কোবাল্ট (II) কার্বোনেট অথবা কোবাল্ট (II) নাইট্রেটকে বাতাসের অনুপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে এটি পাওয়া

যায় (বাতাসের উপস্থিতিতে এটি অক্সিজেন শোষণ করে Co_3O_4 গঠন করে যার মধ্যে Co^{2+} এবং Co^{3+} উভয় আয়ন উপস্থিত থাকে) :



কোবাল্ট (II) লবণের জলীয় দ্রবণে NaOH দ্রবণ যোগ করলে নীল বর্ণের কোবাল্ট (II) হাইড্রক্সাইড, $\text{Co}(\text{OH})_2$, অধঃক্ষিপ্ত হয় :



অনেক সময় রেখে দিলে নীল বর্ণ ক্রমশ গোলাপি হয়।

কোবাল্ট (II) হাইড্রক্সাইড লঘু এসিডে সহজে দ্রবীভূত হয় এবং গোলাপি বর্ণের $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়ন গঠন করে। আবার এটি উত্তপ্ত গাঢ় KOH দ্রবণের সাথেও বিক্রিয়া করে নীল বর্ণের $[\text{Co}(\text{OH})_4]^{2-}$ আয়ন গঠন করে। ফলে কোবাল্ট (II) হাইড্রক্সাইড একটি দুর্বল অ্যামফোটেরিক পদার্থ।

কোবাল্ট (II) লবণের জলীয় দ্রবণে অ্যামোনিয়া এবং অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে কোবাল্ট (II) সালফাইড, CoS , এর কাল অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়।

কোবাল্ট (II) এর অক্সাইড, হাইড্রক্সাইড, কার্বোনেট ইত্যাদি যৌগকে যথার্থ এসিডের লঘু দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে ক্লোরাইড, নাইট্রেট, সালফেট ইত্যাদি দ্রবণীয় লবণ প্রস্তুত করা যায়। এদের মধ্যে অষ্টতলকীয় $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়ন উপস্থিত থাকে এবং সেজন্য লবণগুলির রং গোলাপি। এদের জলীয় দ্রবণে অধিক পরিমাণ Cl^{-} আয়ন যোগ করলে চতুস্তলকীয় $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ আয়ন গঠিত হয়, ফলে একটি নীল দ্রবণ পাওয়া যায়।



গোলাপি

নীল

কোবাল্ট (III) যৌগসমূহ

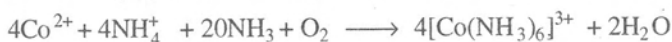
জটিল গঠনকারী উপাদানের অনুপস্থিতিতে $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়নের জারণ প্রক্রিয়া খুবই অস্বাভাবিক এবং Co^{3+} আয়ন পানি দ্বারা বিজারিত হয়। তবে $\text{Co}(\text{ClO}_4)_2$ এর শীতল এসিডীয় দ্রবণকে ওজোন দ্বারা জারিত করে $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ আয়ন প্রস্তুত করা যায় যা $[\text{Co}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_5]^{2+}$ আয়নের সাথে সাম্যাবস্থায় থাকে। জটিল গঠনকারী লিগ্যান্ড, যেমন NH_3 এর উপস্থিতিতে Co^{3+} আয়নের সুস্থিতি অনেক পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। হাইড্রক্সাইড আয়নের উপস্থিতিতে কোবাল্ট (II) হাইড্রক্সাইড বাতাস দ্বারা সহজে জারিত হয়ে একটি কাল হাইড্রাস অক্সাইড, $\text{CoO}(\text{OH})$ গঠন করে।

বাতাস

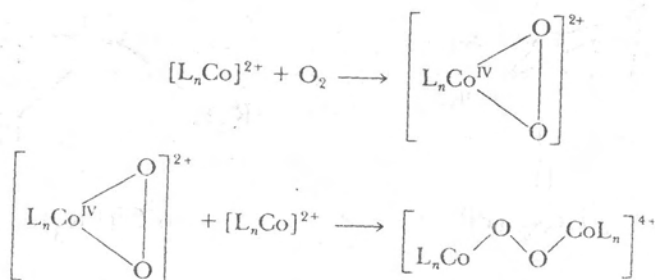


অ্যামোনিয়া, ইথিলিনডাইঅ্যামিন, EDTA, NCS⁻ ইত্যাদি নাইট্রোজেন দাতা লিগ্যান্ডের সাথে Co³⁺ আয়নের বিশেষ আসক্তি রয়েছে, ফলে অসংখ্য জটিল গঠিত হয়। প্রায় সকল Co(III) জটিলের অষ্টতলকীয় গঠন থাকে।

লিগ্যান্ডের উপস্থিতিতে Co²⁺ আয়নের দ্রবণকে জারিত করে Co(III) জটিল প্রস্তুত করা যায়। জারক হিসেবে অক্সিজেন অথবা হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড এবং প্রভাবক হিসেবে সক্রিয় চারকোল (activated charcoal) ব্যবহৃত হয়। উদাহরণ :

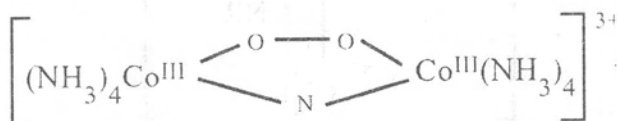


অক্সিজেনের সাথে Co (II) এর প্রাথমিক বিক্রিয়াটি সম্ভবত একটি জারণকারী যুত বিক্রিয়া (oxidative-addition reaction) যার মাধ্যমে Co (II) যৌগের সাথে O₂ যুক্ত হয়ে একটি স্বল্পস্থায়ী Co(IV) যৌগ সৃষ্টি হয় যা দ্রুত আর একটি Co (II) যৌগের সাথে বিক্রিয়া করে একটি দ্বি-নিউক্লীয় পারঅক্সো সেতুযুক্ত যৌগ গঠন করে (চিত্র ২.৭) :



চিত্র ২.৭ : দ্বি-নিউক্লীয় পারঅক্সো সেতুযুক্ত যৌগ গঠন।

$[(\text{NH}_3)_5 \text{Co}^{\text{III}} \text{OO} \text{Co}^{\text{III}} (\text{NH}_3)_5]^{4+}$ এবং $[(\text{NC})_5 \text{Co}^{\text{III}} \text{OO} \text{Co}^{\text{III}} (\text{CN})_5]^{6-}$ এর মতো জটিল পৃথক করা হয়েছে, যদিও এ আয়নগুলি পানি অথবা এসিডে দ্রুত বিয়োজিত হয়। ক্ষারের উপস্থিতিতে মুক্ত শিকল জটিল $[(\text{NH}_3)_5 \text{Co}^{\text{III}} \text{OOC} \text{Co}^{\text{III}} (\text{NH}_3)_5]^{4+}$ নিচে দেখানো চাক্রিক আয়নে পরিণত হয় (চিত্র ২.৮) :

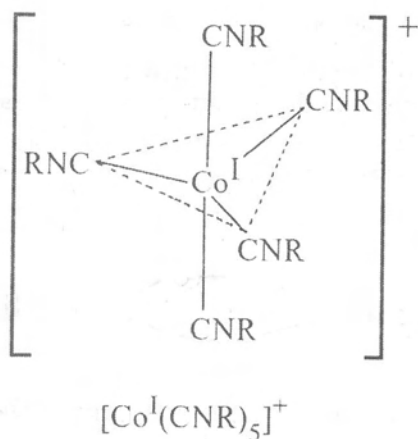
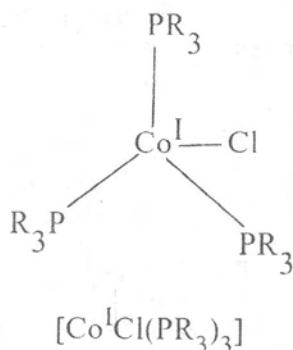
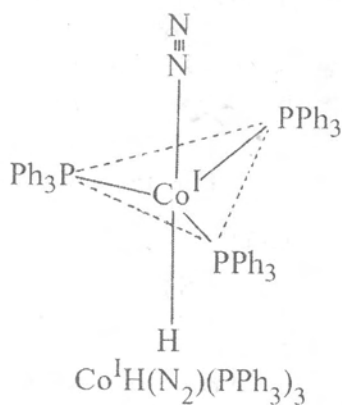


চিত্র ২.৮ : $[(\text{NH}_3)_5 \text{Co}^{\text{III}} \text{OO} \text{Co}^{\text{III}} (\text{NH}_3)_5]^{4+}$ এর গাঠনিক চিত্র।

এরূপ মুক্ত শিকল অথবা চাক্রিক পারঅক্সো আয়নে নিম্ন স্পিন Co^{III} এবং সেতু সৃষ্টিকারী পারঅক্সাইড O₂²⁻ আয়ন উপস্থিত থাকে।

কোবাল্ট I জটিলসমূহ

π এসিড লিগ্যান্ডগুলির সাথে অনেকগুলি কোবাল্ট (I) জটিল গঠিত হয়। এসব যৌগে Co^I ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিড অথবা চতুস্তলকীয় পরিবেশে থাকে CoCl_2 -কে লিগ্যান্ডের উপস্থিতিতে N_2H_4 , Zn , $\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$ অথবা Al অ্যালকাইল দ্বারা বিজারিত এরূপ যৌগগুলি প্রস্তুত করা হয়। কয়েকটি উদাহরণ নিচে দেয়া হলো (চিত্র ২.৯) :



চিত্র ২.৯ : কয়েকটি কোবাল্ট জটিলের উদাহরণ।

নিকেল (Nickel)

নিকেল মৌল (The element Nickel)

সাধারণত নিকেলের আকরিকগুলি কোবাল্টের আকরিকের সাথে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। উল্লেখযোগ্য আকরিকগুলি নিম্নরূপ :

মিলিরাইট, NiS

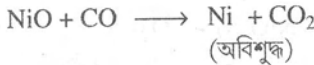
পেন্টালান্ডাইট, (Ni, Fe) S

গারনিরাইট, (Ni, Mg) SiO₃. xH₂

আকরিক থেকে নিকেল নিষ্কাশনের কয়েকটি জটিল ধাপ রয়েছে। ধাপগুলির শেষে আকরিকটি নিকেল (II) অক্সাইডে পরিণত হয়। অতঃপর একে কার্বনসহ উত্তপ্ত করে নিকেল ধাতু পাওয়া যায় :



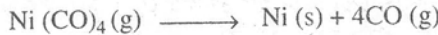
আনুমানিক 350° C তাপমাত্রায় নিকেল (II) অক্সাইডকে সিনথেসিস গ্যাস (যা কার্বনমনোক্সাইড এবং হাইড্রোজেনের মিশ্রণ) সহ উত্তপ্ত করলে অবিশুদ্ধ নিকেল পাওয়া যায়। একে 60° C তাপমাত্রায় কার্বনমনোক্সাইড প্রবাহে উত্তপ্ত করলে উদ্বায়ী পদার্থ হিসেবে Ni(CO)₄ বের হয়ে আসে, কিন্তু ভেজালসমূহ বিক্রিয়া পাত্র থেকে যায়। নিকেল কার্বোনিলকে আনুমানিক 200° C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এটি বিয়োজিত হয়ে অতি বিশুদ্ধ নিকেল উৎপন্ন করে।



60° C



200° C



বিশুদ্ধ

অতি বিশুদ্ধ নিকেল প্রস্তুতের এ পদ্ধতিকে মণ্ড পদ্ধতি বলা হয়।

নিকেলের ধর্ম অনেকাংশে কোবাল্টের ধর্মের অনুরূপ। এর গলনাংক 1452° C এবং ঘনত্ব 8.90 g/cm³। সাধারণ তাপমাত্রায় এটি বাতাস এবং পানির সাথে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু উত্তপ্ত করলে অক্সিজেনের সাথে সরাসরি যুক্ত হয়ে নিকেল (II) অক্সাইড গঠন করে। লঘু খনিজ এসিডগুলি ধীর গতিতে নিকেলকে আক্রমণ করে Ni²⁺ (aq) আয়ন সৃষ্টি করে। তবে গাঢ় নাইট্রিক এসিড নিকেলকে নিষ্ক্রিয় করে দেয়। তাপ বিগলিত সোডিয়াম হাইড্রক্সাইডের সাথেও নিকেল বিক্রিয়া করে না, এজন্য অ্যালকালির সাথে ফিউশন বিক্রিয়ার জন্য নিকেল ক্রুসিবিল (crucible) ব্যবহার করা হয়।

অতি সূক্ষ্ম নিকেল, যা নিকেল(II) অক্সাইডকে হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করে প্রস্তুত করা যায়, সহজে হাইড্রোজেন শোষণ করে এবং একে অ্যালকিনসমূহের হাইড্রোজিনেশন

বিক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে ব্যবহার করা হয়। খাবার অনুপযুক্ত অসংপূক্ত তেল যার মধ্যে কার্বন-কার্বন দ্বি-বন্ধন উপস্থিত থাকে তাকে হাইড্রোজিনেশন করে সংপূক্ত করা হয় এবং এটি খাবার উপযুক্ত হয়। নিকেল প্রভাবকের ব্যবহারের এটি একটি উদাহরণ।

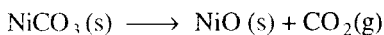
লোহার উপর নিকেলের প্রলেপ দিয়ে একদিকে যেমন লোহার সৌন্দর্য বৃদ্ধি করা যায় তেমনি অন্য দিকে লোহার স্থায়িত্বও বৃদ্ধি পায়। নিকেল থেকে কয়েকটি অতি প্রয়োজনীয় অ্যালয় প্রস্তুত করা হয়। উদাহরণ : মোনেল ধাতু (68% Ni এবং 32% Cu), নিক্রোম (60% Ni এবং 40% Cr)। রাসায়নিক প্ল্যাট নির্মাণে মোনেল ধাতু এবং উচ্চ তাপমাত্রা সৃষ্টি করার জন্য বৈদ্যুতিক হিটারে নিক্রোম ব্যবহার করা হয়। অনেকগুলি গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়ায় নিকেল প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

নিকেলের যৌগসমূহ (Compounds of nickel)

যদিও নিকেলের অল্প কয়েকটি যৌগ জানা রয়েছে যার মধ্যে Ni^{III} (উদাহরণ : একটি অবিশুদ্ধ অক্সাইড $Ni_2O_3 \cdot 2H_2O$) এবং Ni^{IV} (উদাহরণ : একটি অবিশুদ্ধ অক্সাইড, NiO_2 , এবং একটি ফ্লোরাইড জটিল, K_2NiF_6) উপস্থিত থাকে, নিকেলের একমাত্র উল্লেখযোগ্য জারণ অবস্থা হলো +2।

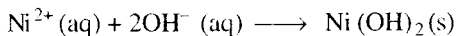
নিকেল (II) যৌগসমূহ

নিকেল (II) অক্সাইড, NiO , একটি সবুজ কঠিন পদার্থ যা নিকেল (II) কার্বোনেট বা নিকেল (II) নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে পাওয়া যায় :

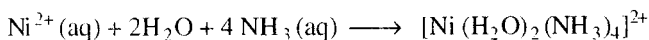
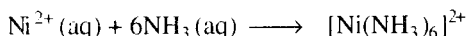
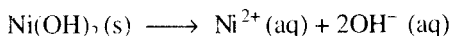


এটি একটি ক্ষারকীয় অক্সাইড যা এসিডে দ্রবীভূত হয়ে সবুজ $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ আয়ন সৃষ্টি করে।

নিকেল (II) লবণের দ্রবণে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড যোগ করে একটি সবুজ পিচ্ছিল অধঃক্ষেপ হিসেবে নিকেল (II) হাইড্রক্সাইড, $Ni(OH)_2$ পাওয়া যায় :



এটি একটি ক্ষারকীয় যৌগ হওয়ায় সহজে লঘু এসিডে দ্রবীভূত হয় কিন্তু শক্তিশালী ক্ষার দ্রবণ দ্বারাও আক্রান্ত হয় না। কিন্তু অ্যামোনিয়া দ্রবণে জটিল গঠন করে এটি একটি নীল দ্রবণ সৃষ্টি করে যার মধ্যে $[Ni(H_2O)_2(NH_3)_4]^{2+}$ এবং $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ আয়ন উপস্থিত থাকে।

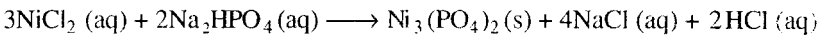


Ni^{2+} আয়ন অ্যামোনিয়ার সাথে জটিল গঠন করে বলেই এটি দ্রবীভূত হয়।

অ্যামোনিয়া দ্রবণ এবং অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইডের উপস্থিতিতে নিকেল (II) লবণের দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড চালনা করলে কাল বর্ণের নিকেল সালফাইড, NiS, অধঃক্ষিপ্ত হয়। সালফাইড যৌগটির দ্রাব্যতা গুণাংকের মান খুব বেশি হওয়ায় এটি এসিডীয় দ্রবণে অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

নিকেল (II) অক্সাইড, নিকেল (II) হাইড্রক্সাইড অথবা নিকেল (II) কার্বোনেটকে লঘু এসিড দ্বারা বিক্রিয়া করে Ni^{2+} আয়নের দ্রবণীয় লবণ (যেমন $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ প্রস্তুত করা যায়। নিকেল প্লেটিং (nickel plating) করার জন্য এর জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা হয়।

নিকেলের অদ্রবণীয় লবণগুলির মধ্যে নিকেল (II) কার্বোনেট এবং নিকেল (II) ফসফেট উল্লেখযোগ্য। দ্বি-বিয়োজন বিক্রিয়ার মাধ্যমে এগুলি প্রস্তুত করা যায়। উদাহরণ :



জটিল যৌগসমূহ

নিকেল (II) ছয়, পাঁচ এবং চার সন্নিবেশ সংখ্যার অসংখ্য জটিল যৌগ গঠন করে যাদের আকৃতি অষ্টতলকীয়, ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিডীয়, বর্গাকার পিরামিডীয়, চতুস্তলকীয় এবং সমতল বর্গাকৃতির হতে পারে।

ছয় সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল যৌগ

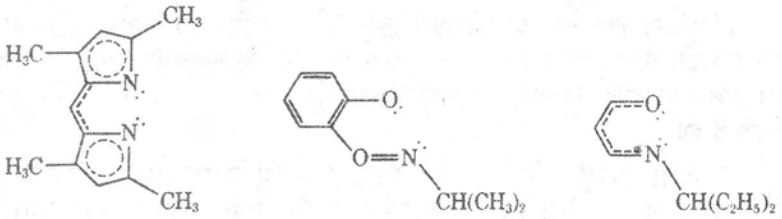
ছয় সন্নিবেশ সংখ্যার যৌগগুলির আকৃতি অষ্টতলকীয়। সবচেয়ে সাধারণ ছয় সন্নিবেশ সংখ্যার নিকেল জটিল হলো সবুজ বর্ণের অ্যাকোয়া আয়ন $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ । নিকেল, নিকেল কার্বোনেট এবং এরূপ আরো কিছু বস্তুকে এসিডে দ্রবীভূত করে এটি প্রস্তুত করা যায়।

বিভিন্ন প্রকার অ্যামিন যৌগ করে অ্যাকোয়া আয়ন থেকে সহজে পানি অপসারণ করে অ্যামিন যৌগসমূহ প্রস্তুত করা যায়। উদাহরণ : $trans-[Ni(H_2O)_2(NH_3)_4]$, $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$, $[Ni(en)_3]^{2+}$ ইত্যাদি। অ্যামিন যৌগগুলির রং নীল অথবা লাল ও নীলের মিশ্রিত হয়ে থাকে।

চার সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল যৌগ

চার সন্নিবেশ সংখ্যার জটিলগুলির আকৃতি দুই প্রকার হতে পারে : চতুস্তলকীয় এবং বর্গাকৃতির। এ দুই এর মধ্যে বর্গাকৃতির যৌগের সংখ্যা অনেক বেশি।

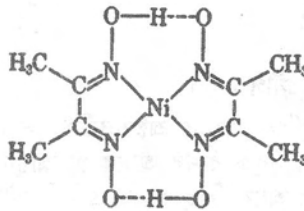
চতুস্তলকীয় যৌগগুলি সাধারণত নিম্নলিখিত সংযুক্তির হয় : $[NiX_4]^{2-}$, $[NiX_3L]^-$, $[NiL_2X_2]$ এবং $[Ni(L-L)_2]$, এখানে X একটি হ্যালোজেন অথবা SPh, L একটি চার্জহীন লিগ্যান্ড (যেমন ফসফিন, ফসফিন অক্সাইড অথবা আর্সিন) এবং L-L একটি দ্বি-দন্তীয় লিগ্যান্ড যা ২.১০ চিত্রে উল্লিখিত লিগ্যান্ডগুলির মতো কোনো একটি হতে পারে :



চিত্র ২.১০ : কয়েকটি দ্বি-দন্তীয় লিগ্যান্ড।

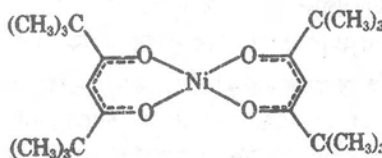
উল্লিখিত দ্বি-দন্তীয় লিগ্যান্ডগুলিতে নাইট্রোজেন পরমাণুতে অথবা নাইট্রোজেন পরমাণুর কাছাকাছি পরমাণুতে বৃহদাকৃতির প্রতিস্থাপক গ্রুপ উপস্থিত থাকে যার কারণে $Ni(L-L)_2$ অণু বর্গাকৃতির সমতল কাঠামো গঠন করতে পারে না। সবগুলি চতুস্তলকীয় জটিল প্যারাম্যাগনেটিক প্রকৃতির হয়। এরা সাধারণত নীল বা সবুজ বর্ণের হয়ে থাকে।

বর্গাকৃতির নিকেল যৌগসমূহ সব সময় ডায়াম্যাগনেটিক প্রকৃতির। এদের বর্ণ লাল, হলুদ অথবা বাদামি হয়। সম্ভবত সবচেয়ে অধিক পরিচিত বর্গাকার সমতল জটিল হলো লাল বর্ণের বিস(ডাইমিথাইলগ্লাইঅক্সিমেটো)নিকেল (II), $Ni(dmgH)_2$ যা ভরমিতিক পদ্ধতিতে নিকেলের পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য ব্যবহৃত হয়। অ্যামোনিয়াক্যাল নিকেল (II) দ্রবণে ইথানলিক $dmgH_2$ যোগ করলে জটিলটির অধঃক্ষেপ পাওয়া যায় (চিত্র ২.১১) :



চিত্র ২.১১ : $[Ni(dmgH)_2]$ যৌগ।

বর্গাকৃতির সমতল জটিলের আর কয়েকটি উদাহরণ হলো কতিপয় β -কিটোইনোলেট জটিল, এক-দন্তী π -এসিড লিগ্যান্ডসমূহের জটিল [উদাহরণ, $NiBr_2(PEt_3)_2$] এবং CN^- ও SCN^- লিগ্যান্ডসমূহের জটিল। $Ni^{2+}(aq)$ দ্রবণে CN^- যোগ করে সহজেই হলুদ বর্ণের সায়ানো জটিল $[Ni(CN)_4]^{2-}$ প্রস্তুত করা যায়। লাল বর্ণের একটি β -কিটোইনোলেট জটিলের কাঠামো নিচে দেওয়া হয়েছে (চিত্র ২.১২) :

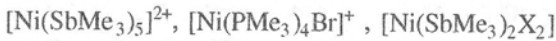


চিত্র ২.১২ : নিকেলের একটি β -কিটোইনোলেট জটিল।

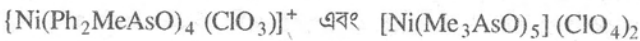
পাঁচ সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল যৌগ

পাঁচ সন্নিবেশ সংখ্যার জটিলগুলির আকৃতি ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিডের মত অথবা বর্গাকার পিরামিডের মত হয়ে থাকে।

ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিড আকৃতির কয়েকটি জটিলের উদাহরণ নিম্নরূপ :



বর্গাকার পিরামিড আকৃতির দুটি জটিল হলো—



নিকেল (III) জটিলসমূহ

নিকেল (III) এর কতিপয় যৌগ সঠিকভাবে সনাক্ত করা হয়েছে। ছয় সন্নিবেশ সংখ্যার দুটি Ni^{III} জটিল হলো $\text{K}_3[\text{NiF}_6]$ এবং $\text{trans}-[\text{Ni}(\text{diars})_2\text{Cl}_2]\text{Cl}$ পাঁচ সন্নিবেশ সংখ্যার একটি Ni^{III} জটিলের উদাহরণ হলো $[\text{NiBr}_3(\text{PMe}_2\text{Ph})_2]$ ।

কপার (Copper)

কপার মৌল (The element copper)

যদিও প্রকৃতিতে প্রচুর পরিমাণে কপার পাওয়া যায় না তথাপি অনেকগুলি কপার আকরিক রয়েছে। কপারের প্রধান আকরিকগুলি হলো

কপার পাইরাইটস, CuFeS_2

কপার গ্লান্স, Cu_2S

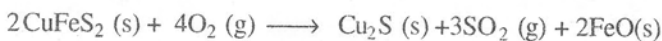
কিউপ্রাইট, Cu_2O

মালাকাইট, CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$

অ্যাজুরাইট, 2CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$

প্রধানত কপার পাইরাইটস, কপার গ্লান্স এবং কিউপ্রাইট আকরিক থেকে কপার নিষ্কাশন করা হয়।

তেল ভাসমান পদ্ধতিতে চূর্ণ আকরিককে ঘনীভূত করা হয় এবং সীমিত পরিমাণ বাতাসে পুড়িয়ে আয়রনকে আয়রন (II) অক্সাইডে পরিণত করা হয় :



অতঃপর সিলিকা, SiO_2 , যোগ করে বাতাসের অনুপস্থিতিতে মিশ্রণটিকে উত্তপ্ত করে আয়রন (II) অক্সাইডকে আয়রন (II) সিলিকেট, FeSiO_3 , ধাতুমলে পরিণত করে ঢেলে আলাদা করা হয়। কপার (I) সালফাইডকে এখন সীমিত পরিমাণ বাতাসের সাথে উত্তপ্ত করে ধাতব কপারে বিজারিত করা হয় :



অবিশুদ্ধ কপারকে তড়িৎবিশ্লেষণ পদ্ধতিতে বিশোধিত করে 99.95% বিশুদ্ধ কপারে পরিণত করা হয়। তড়িৎবিশ্লেষণ কোষে অবিশুদ্ধ কপার দণ্ডকে অ্যানোড এবং বিশুদ্ধ কপার দণ্ডকে ক্যাথোড হিসেবে ব্যবহার করা হয় এবং তড়িৎবিশ্লেষণ পদার্থ হিসেবে কপার (II) সালফেটের জলীয় দ্রবণ ব্যবহার করা হয়। তড়িৎবিশ্লেষণ চলাকালে অ্যানোড থেকে ক্যাথোডে বিশুদ্ধ কপার জমা হয়।

কপারের গলনাংক 1083°C এবং ঘনত্ব 8.94 g/cm^3 । এটি একটি সোনালী রং এর ধাতু যা অত্যন্ত নমনীয়, হাতুড়ি দ্বারা পিটিয়ে একে যে কোনো আকৃতিতে আনা যায়। এর বিদ্যুৎ পরিবাহিতা এবং তাপ পরিবাহিতা খুবই বেশি (সকল ধাতুর মধ্যে দ্বিতীয়)। ভেজা বাতাস দ্বারা কপার ধীরে ধীরে আক্রান্ত হয় এবং ক্ষারকীয় কপার কার্বোনেটের একটি স্তর একে ঢেকে ফেলে। আনুমানিক 300°C তাপমাত্রায় এটি বাতাস দ্বারা আক্রান্ত হয় এবং এর পৃষ্ঠতলে কপার (II) অক্সাইডের একটি কাল আবরণ জমা হয়; 1000°C তাপমাত্রায় কপার (II) অক্সাইডের পরিবর্তে কপার (I) অক্সাইড গঠিত হয়। সালফার বাষ্প দ্বারাও কপার আক্রান্ত হয়ে কপার (I) সালফাইড গঠন করে, হ্যালোজেন দ্বারা আক্রান্ত হয়ে কপার (II) হ্যালাইড গঠিত হয় (ব্যতিক্রম : আয়োডিন কপারের সাথে কপার (I) আয়োডাইড গঠন করে)।

পানি এবং স্টিম দ্বারা কপার আক্রান্ত হয় না এবং কোনো জারক পদার্থের অনুপস্থিতিতে লঘু হাইড্রোক্লোরিক এসিড এবং লঘু সালফিউরিক এসিডও একে আক্রমণ করতে পারে না। কিন্তু উত্তপ্ত এবং গাঢ় হাইড্রোক্লোরিক এসিড এবং সালফিউরিক এসিড একে আক্রমণ করে, লঘু নাইট্রিক এসিড দ্বারাও এটি আক্রান্ত হয়।

মুদ্রা প্রস্তুতের ধাতু হিসেবে, বিদ্যুৎ পরিবহনের তার হিসেবে এবং রান্নার বাসনপত্র তৈরির কাজে প্রচুর পরিমাণে কপার ব্যবহৃত হয়। অন্যান্য কিছু ধাতুর সাথে (যেমন টিন ও দস্তা) মিশিয়ে কপারের কয়েকটি অতি প্রয়োজনীয় অ্যালয় প্রস্তুত করা হয়। উদাহরণ : জার্মান সিলভার (Cu + Ni + Zn), ব্রাস বা পিতল (Cu + Zn) এবং ব্রোঞ্চ বা কাঁসা (Cu + Sn)।

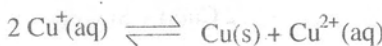
কপারের যৌগসমূহ (Compounds of copper)

কপারের প্রধান দুটি জারণ অবস্থা +1 এবং +2, Cu^+ যৌগগুলি কেবল কঠিন অবস্থায় সুস্থিত। এ দুটি জারণ অবস্থা ছাড়াও +3 এবং +4 জারণ অবস্থাতে কপারের স্বল্প সংখ্যক যৌগ পাওয়া যায়।

কপার (I) যৌগসমূহ

কপার (I) যৌগসমূহ ডায়াম্যাগনেটিক প্রকৃতির। অ্যানায়ন অথবা চার্জ ট্রান্সফার ব্যান্ড থেকে রং সৃষ্টি না হলে সকল Cu^+ যৌগ বর্ণহীন হয়।

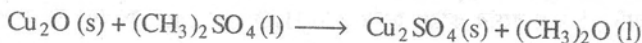
জলীয় দ্রবণে আর্দ্র কপার (I) আয়ন সুস্থিত নয় এবং স্ব জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার মাধ্যমে কপার (II) আয়ন এবং কপার ধাতুতে পরিণত হয় :



পানিতে অদ্রবণীয় সকল কপার (I) যৌগগুলিকে সুস্থিত অবস্থায় পাওয়া যায় (যেমন CuCl এবং CuCN)। শুষ্ক অবস্থায় দ্রবণীয় কপার (I) যৌগগুলিও সুস্থিত, যেমন Cu_2SO_4 । উচ্চ তাপমাত্রায় কপার (I) অক্সাইড এবং কপার (I) সালফাইড যৌগ দুটি অনুরূপ Cu^{II} যৌগ থেকে বেশি সুস্থিত। কপার (II) লবণের একটি ক্ষারীয় দ্রবণকে হাইড্রাজিন দ্বারা নিয়ন্ত্রিতভাবে বিজারণ করে হলুদ রং এর Cu_2O পাওয়া যায়। আবার CuO -কে উত্তাপের মাধ্যমে বিযোজিত করে লাল রং এর Cu_2O প্রস্তুত করা যায়। কপারকে সালফারের সাথে বাতাসের অনুপস্থিতিতে উত্তপ্ত করে কাল রং এর কপার (I) সালফাইড (Cu_2S) প্রস্তুত করা যায়।

কপার (II) লবণের এসিডীয় দ্রবণকে অধিক পরিমাণ কপারের সাথে ফুঁটিয়ে কপার (I) ক্লোরাইড এবং ব্রোমাইড প্রস্তুত করা যায়। পানি যোগ করে দ্রবণকে লঘু করলে CuCl এর সাদা এবং CuBr এর হলুদ অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। কপার (II) লবণের দ্রবণে I^- আয়ন যোগ করলে দ্রুত CuI এবং আয়োডিন উৎপন্ন হয়। CuF কখনো গঠিত হয় না। হ্যালাইডগুলির গঠন জিংক ব্রেন্ডের গঠনের অনুরূপ (হ্যালাইড আয়নগুলি Cu^+ আয়ন দ্বারা চতুস্তলকীয়ভাবে পরিবেষ্টিত থাকে)। এগুলি পানিতে অদ্রবণীয়, কিন্তু অধিক পরিমাণ হ্যালাইড আয়ন যোগ করলে জটিল গঠন করে (যেমন $[\text{CuCl}_2]^-$, $[\text{CuCl}_3]^{2-}$ এবং $[\text{CuCl}_4]^{3-}$) এদের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়।

কপার (I) অক্সাইডকে শুষ্ক ডাইমিথাইল সালফেটসহ উত্তপ্ত করলে সাদা রং এর কপার (I) সালফেট, Cu_2SO_4 , পাওয়া যায় :



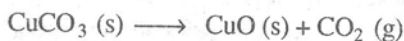
জলীয়বাস্পের অনুপস্থিতিতে এটি সুস্থিত, কিন্তু পানির সংস্পর্শে অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া করে কপার (II) সালফেট এবং কপারে পরিণত হয় :



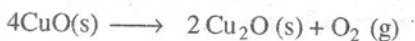
কপার (II) যৌগসমূহ

কপারের সবচেয়ে সাধারণ জারণ অবস্থা হলো +2 এবং জলীয় দ্রবণে কপার (II) লবণগুলি নীল হয়। $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ আয়নের উপস্থিতির কারণে নীল রং হয়ে থাকে।

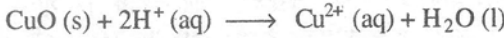
কপার (II) অক্সাইড একটি অদ্রবণীয় কাল যৌগ। কপার (II) কার্বোনেট অথবা কপার (II) নাইট্রেটকে উত্তপ্ত করে এটি প্রস্তুত করা যায় :



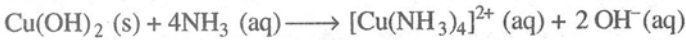
একে 800°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে কপার (I) অক্সাইড এবং অক্সিজেন গঠিত হয় :



উত্তপ্ত লঘু খনিজ এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে এটি কপার (I) লবণ উৎপন্ন করে। হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া করে এটি কপার ধাতুতে পরিণত হয় :



কপার (II) হাইড্রক্সাইড একটি নীল-সবুজ কঠিন পদার্থ। কপার (II) লবণের দ্রবণকে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড দ্বারা ক্ষারীয় করলে একটি নরম পিচ্ছিল পদার্থ হিসেবে এটি অধঃক্ষিপ্ত হয়। অ্যামোনিয়া দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে একটি নীল জটিল সৃষ্টি করে এটি দ্রবীভূত হয় :



কপার (II) লবণের দ্রবণে হাইড্রোজেন সালফাইড গ্যাস চালনা করলে কপার (II) সালফাইডের একটি কাল অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয়, এসিড দ্রবণেও এটি দ্রবীভূত হয় না।

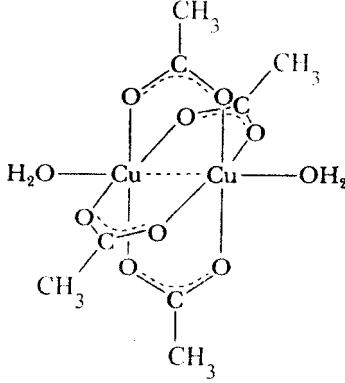
উত্তপ্ত কপারের উপর দিয়ে ক্লোরিন গ্যাস চালনা করলে অনার্দ্র কপার (II) ক্লোরাইড পাওয়া যায়। এটি প্রধানত একটি সমযোজী যৌগ। এটি পানিতে অত্যন্ত দ্রবণীয়। পানিতে একটি গাঢ় দ্রবণের রং অন্ধকার-বাদামি, জটিল আয়ন $\text{CuCl}_4^{2-} (\text{aq})$ এর উপস্থিতির জন্য এরূপ রং সৃষ্টি হয়, কিন্তু পানি যোগ করে লঘু করলে এ রং প্রথমে সবুজ এবং পরে নীল হয়। জটিলে ক্লোরাইড আয়নগুলিকে পর্যায়ক্রমে পানি দ্বারা অপসারণের ফলে রং এর এরূপ পরিবর্তন ঘটে ; চূড়ান্ত বর্ণের কারণ হলো $[\text{Cu(H}_2\text{O)}_6]^{2+} (\text{aq})$ আয়ন। সবুজ দ্রবণটিকে কেলাসিত করে $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ পাওয়া যায়।

কপার (II) ফ্লোরাইড, CuF_2 , একটি বর্ণহীন কঠিন পদার্থ এবং ক্লোরাইডের মত না হয়ে এটি একটি আয়নিক যৌগ।

কপার (II) ব্রোমাইড, CuBr_2 , একটি কাল স্ফটিকী যৌগ। এর গঠন CuCl_2 এর গঠনের অনুরূপ। জলীয় দ্রবণে বিভিন্ন প্রকার জটিল সৃষ্টি হয়, লঘু দ্রবণের নীল রং প্রধানত $[\text{Cu(H}_2\text{O)}_6]^{2+} (\text{aq})$ আয়নের জন্য হয়ে থাকে। কপার (II) আয়োডাইড কখনো গঠিত হয় না।

কপার (II) অক্সাইড অথবা কপার (II) কার্বনেটের সাথে লঘু সালফিউরিক এসিডের বিক্রিয়া করে অতি পরিচিত নীল বর্ণের কপার (II) সালফেট পেন্টাহাইড্রেট, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ প্রস্তুত করা যায়। এ যৌগ সমতল $[\text{Cu(H}_2\text{O)}_4]^{2+}$ আয়ন উপস্থিত থাকে, দূর থেকে দুটি সালফেট আয়নের দুটি অক্সিজেন দ্বারা কপারের অবশিষ্ট দুটি সন্নিবেশ অবস্থান পূর্ণ হয়, এবং অবশিষ্ট পানির অণুটি ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়ন উভয়ের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন করে যুক্ত থাকে। উত্তপ্ত করে পানির অণুগুলি মুক্ত করলে বর্ণহীন CuSO_4 পাওয়া যায়। এ যৌগে সালফেট অ্যানায়নের অক্সিজেন পরমাণুর সাথে কপার (II) এর সন্নিবেশ স্থানগুলি পূর্ণ করে একটি বিকৃত অষ্টতলকীয় কাঠামো সৃষ্টি হয়।

কপার (II) অ্যাসিটেট একটি ডাইমারিক আর্দ্র যৌগ, $\text{Cu}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ।
কপার (II) অক্সাইড অথবা কার্বোনেটের সাথে অ্যাসিটিক এসিডের বিক্রিয়া করে এটি প্রস্তুত করা যায়। ২.১৩ চিত্রে যৌগটির গাঠনিক কাঠামো দেখানো হয়েছে।



চিত্র ২.১৩ : $\text{Cu}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ এর গাঠনিক কাঠামো।

যৌগটিতে দু'টি কপার পরমাণুর প্রতিটি অষ্টতলকীয় অবস্থানে থাকে। চারটি অ্যাসিটেট গ্রুপ দু'টি কপার পরমাণুর মধ্যে সেতু-লিগ্যান্ড হিসেবে কাজ করে। অতএব অ্যাসিটেট গ্রুপগুলি থেকে অক্সিজেন পরমাণুগুলি প্রতিটি কপারের সাথে চারটি করে সমন্বিত স্থান দখল করে। প্রতিটি কপারের পঞ্চম সমন্বিত অবস্থানটি পানির একটি অক্সিজেন পরমাণু দ্বারা পূর্ণ হয়। অপর সমন্বিত স্থানটি কপার পরমাণু দ্বারা পূর্ণ হয়।

কপার (III) এবং কপার (IV) যৌগসমূহ

কপার (III) এবং কপার (IV) এর অতি অল্প সংখ্যক যৌগ প্রস্তুত করা সম্ভব হয়েছে। নিচে কয়েকটি উদাহরণ দেয়া হলো :

কপার (III) জটিল : $\text{K}_3[\text{Cu}^{\text{III}}\text{F}_6]$ (হালকা সবুজ যৌগ)

$\text{Cu}^{\text{III}}\text{Br}_2(\text{S}_2\text{CNBu}_2)$ (বেগুনি যৌগ)

$[\text{Cu}^{\text{III}}(\text{IO}_4\text{OH})_2]^{5-}$, $\{\text{Cu}^{\text{III}}[\text{TeO}_4(\text{OH})_2]_2\}^{5-}$

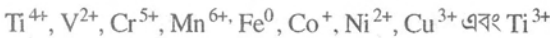
কপার (IV) জটিল : $\text{Cs}_2[\text{Cu}^{\text{IV}}\text{F}_6]$ (বাদামি-লাল যৌগ)



প্রশ্নমালা

১। প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌলগুলির প্রতীক, নাম এবং ইলেকট্রন বিন্যাস লিখ। Ti^{3+} আয়নের জলীয় দ্রবণ বেগুনি কিন্তু Sc^{3+} আয়নের জলীয় দ্রবণ বর্ণহীন হয় কেন?

২। নিম্নশক্তি অবস্থায় নিচের আয়ন এবং পরমাণুগুলির ইলেক্ট্রন বিন্যাস লিখ :



৩। টিটানিয়ামের জারণ অবস্থাপুঞ্জি উল্লেখ কর এবং প্রত্যেক জারণ অবস্থার একটি করে উদাহরণ দাও।

৪। জলীয় দ্রবণে ভ্যানাডিয়ামের বিভিন্ন জারণ অবস্থা উল্লেখ কর। এ জারণ অবস্থাপুঞ্জি কিভাবে সনাক্ত করা যায়?

৫। +5, +4, +3 এবং +2 জারণ অবস্থায় ভ্যানাডিয়ামের একটি করে যৌগের উদাহরণ দাও।

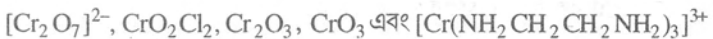
৬। ক্রোমিয়ামের প্রধান আকরিক কি?

৭। ক্রোমিয়ামের পাঁচটি জারণ অবস্থার প্রতিটির একটি করে উদাহরণ দাও।

৮। নিম্নলিখিত বস্তুগুলির জলীয় দ্রবণে $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণ যোগ করলে কি ঘটে?



৯। ক্রোমিয়ামের নিম্নলিখিত আয়ন এবং যৌগগুলির গাঠনিক সংকেত ঐকে দেখাও :



১০। ম্যাংগানিজের +2, +3, +4, +6 এবং +7 জারণ অবস্থাপুঞ্জির একটি করে উদাহরণ দাও।

১১। সোডিয়াম নাইট্রো প্রুসাইডের সংকেত লিখ। এটি কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? সালফাইড আয়ন সনাক্তকরণে এর ব্যবহার উল্লেখ কর।

১২। Cu^{2+} আয়নের সাথে পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইডের বিক্রিয়ার সমীকরণ দাও।

১৩। কারণ ব্যাখ্যা কর : Co^{2+} আয়নের জলীয় দ্রবণ গোলাপি, কিন্তু হাইড্রোক্লোরিক এসিড যোগ করলে দ্রবণটি নীল হয়।

১৪। কোবাল্টের +1 জারণ অবস্থার দুটি জটিলের গাঠনিক সংকেত ঐকে দেখাও।

১৫। $[Co_2O_2(NH_3)_{10}(SO_4)_2]$ যৌগটির গাঠনিক কাঠামো আঁক।

১৬। $[Ni(dmgH)_2]$ যৌগটি কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? এর গাঠনিক কাঠামো আঁক।

১৭। পাঁচ সন্নিবেশ সংখ্যার একটি Ni (III) জটিলের উদাহরণ দাও।

১৮। কপার (II) অক্সাইড থেকে $\text{Cu}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ যৌগটি কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? এর গাঠনিক কাঠামো আঁক।

১৯। ফেরোসিন যৌগের গাঠনিক কাঠামো আঁক।

২০। সমতাকৃত রাসায়নিক সমীকরণ লিখ :

- (১) আর্দ্র Co^{2+} আয়নের সাথে Na_2EDTA এর বিক্রিয়া,
- (২) Fe^{2+} আয়নের জলীয় দ্রবণে সোডিয়াম বাইকার্বোনেট যোগ করলে,
- (৩) পানি দ্বারা Mn^{3+} আয়নের বিজারণ বিক্রিয়া,
- (৪) TiCl_4 এর আর্দ্র বিশ্লেষণ বিক্রিয়া,
- (৫) H_2O_2 দ্বারা Ti^{3+} এর জারণ বিক্রিয়া,
- (৬) NaOH এর জলীয় দ্রবণে V_2O_5 এর দ্রবণ যোগ করলে,
- (৭) CrO_3 এর প্রস্তুতি,
- (৮) CrO_2Cl_2 এর আর্দ্র বিশ্লেষণ,
- (৯) Cu^{2+} এর দ্রবণে I^- যোগ করলে
- (১০) জলীয় Cu^{2+} দ্রবণকে সায়ানাইড দ্বারা বিজারণ।

তৃতীয় অধ্যায়

দ্বিতীয় এবং তৃতীয় অবস্থান্তর সিরিজের মৌলসমূহ

(The Elements of the Second and Third Transition Series)

সাধারণ আলোচনা (General Discussion)

প্রথম সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির সাথে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির কতিপয় উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য নিচে তুলনা করা হয়েছে :

পারমাণবিক ব্যাসার্ধ : ভারি ধাতু এবং আয়নগুলির ব্যাসার্ধ প্রথম সিরিজের অনুরূপ মৌলগুলির ব্যাসার্ধের তুলনায় বড়। ল্যাণ্ডানাইড সংকোচনের কারণে তৃতীয় সিরিজের ক্ষেত্রে ব্যাসার্ধের মান দ্বিতীয় সিরিজের ব্যাসার্ধের চেয়ে সামান্য কম হয়, যদিও তৃতীয় সিরিজের মৌলগুলির পারমাণবিক সংখ্যা এবং ইলেকট্রন সংখ্যা দুইই বেশি।

জারণ অবস্থা : (১) প্রথম সিরিজের উচ্চ জারণ অবস্থানগুলির তুলনায় দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সিরিজের অনুরূপ জারণ অবস্থানগুলি অধিক সুস্থিত। Mo, W, Tc, Re, Ru এবং Os এর অক্সোঅ্যানায়নসমূহ ($[MO_4]^{n-}$) তুলনামূলকভাবে Cr, Mn, এবং Fe এর অনুরূপ অ্যানায়নের তুলনায় বেশি সুস্থিত। কতকগুলি যৌগ, যেমন WCl_6 , ReF_7 , RuO_4 এবং PtF_6 , এর অনুরূপ যৌগ প্রথম সিরিজে পাওয়া যায় না। গ্রুপ IVA(4) থেকে গ্রুপ VIA(6) পর্যন্ত মৌলসমূহের উচ্চতম জারণ অবস্থা বেশি সুস্থিত হয়।

(২) Ru, Pd এবং Pt বাদে অন্যদের +2 জারণ অবস্থা তুলনামূলকভাবে কম গুরুত্বপূর্ণ। Mo এর জন্য এটি গুরুত্বপূর্ণ হলেও Cr^{2+} থেকে এটি পৃথক ধরনের (Mo_2^{4+})। একইভাবে Rh, Ir, Ru এবং Re বাদে অন্যদের +3 জারণ অবস্থা তুলনামূলকভাবে কম গুরুত্বপূর্ণ।

ধাতু-ধাতু বন্ধন : প্রথম সিরিজের মৌলগুলির ক্ষেত্রে কেবল ধাতু কার্বোনিল এবং অনুরূপ যৌগগুলিতে এবং ক্রোমিয়াম(II) এর দ্বি-নিউক্লীয় জটিলগুলিতে যেমন : $Cr_2(OOC-CH_3)_4(H_2O)_2$, M-M বন্ধন গঠিত হয়। ভারি মৌলগুলিতে ধাতু-ধাতু বন্ধন গঠনের সুযোগ অনেক বেশি।

(১) $M_2(OOC-CH_3)_4$ [M = Mo, Rh এবং Ru] যৌগগুলির ক্ষেত্রে ধাতু-ধাতু বন্ধন উপস্থিত থাকে। আবার Mo, Tc, Re এবং Os এর দ্বি-নিউক্লীয় হ্যালাইডগুলির ক্ষেত্রেও (যেমন $[Re_2Cl_8]^{2-}$) ধাতু-ধাতু বন্ধন গঠিত হয়।

(২) Nb, Ta, Mo, W এবং Re এর হ্যালাইডগুলি ক্লস্টার যৌগ গঠন করে।
উদাহরণ : $[Ta_6Cl_{12}]^{2+}$ এবং $[Re_3Cl_{12}]^{3-}$ ।

সন্নিবেশ সংখ্যা : প্রথম সিরিজের তুলনায় দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির আকার বড় হওয়ার কারণে এদের সন্নিবেশ সংখ্যা বেশি হওয়ার একটি প্রবণতা থাকে (বিশেষ করে সিরিজের প্রথম দিকের মৌলগুলির ক্ষেত্রে)। অতএব ভারি অবস্থান্তর ধাতুগুলির যোগে সন্নিবেশ সংখ্যা প্রায়শই সাত, আট এবং নয় হয়। উদাহরণ : $[ZrF_7]^{3-}$, $[ZrF_8]^{2-}$, $[NbF_7]^{2-}$, $[TaF_8]^{3-}$ ইত্যাদি।

ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানাম

(Yttrium and Lanthanum)

ল্যান্থানাইড মৌলগুলির সাথে এ দুটি ধাতুর ঘনিষ্ঠ মিল রয়েছে এবং সেজন্য প্রকৃতিতে ল্যান্থানাইড মৌলগুলির সাথে এদেরকে এক সাথে পাওয়া যায়। এদের একমাত্র সুস্থিত জারণ অবস্থা হলো +3।

সারণি ৩.১ : স্ক্যানডিয়াম, ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানামের কতিপয় ধর্ম।

মৌল	Sc	Y	La
ইলেকট্রন বিন্যাস	$[Ar]3d^1 4s^2$	$[Kr] 4d^1 5s^2$	$[Xe] 5d^1 6s^2$
পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (Å)	1.64	1.82	1.87
পরমাণুকরণ এনথালপি (kJ mol^{-1})	326	410	435
গলনাংক ($^{\circ}\text{C}$)	1540	1500	920
প্রথম আয়নিকরণ শক্তি (kJ mol^{-1})	631	616	540
দ্বিতীয় আয়নিকরণ শক্তি (kJ mol^{-1})	1235	1180	1100
তৃতীয় আয়নিকরণ শক্তি (kJ mol^{-1})	2390	1980	1850
আয়নিক ব্যাসার্ধ, M^{3+} (Å)	0.73	0.89	1.06
$E^{\circ}, M^{3+}(\text{aq})+3e \rightleftharpoons M(\text{V})$	-1.88	-2.30	-2.37

৩.১ সারণিতে স্ক্যানডিয়াম, ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানাম মৌলগুলির কিছু ধর্ম উল্লেখ করা হয়েছে। সারণি থেকে দেখা যায়, পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে মৌলগুলির ধর্মের পরিবর্তন মৃৎক্ষার ধাতুগুলির মধ্যে অনুরূপ পরিবর্তনের সাথে তুলনীয় : নিচের দিকে আয়নিকরণ শক্তি নিয়মিতভাবে হ্রাস পায় এবং পারমাণবিক ও আয়নিক ব্যাসার্ধ নিয়মিতভাবে বৃদ্ধি পায়। ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানামের মধ্যে পরমাণুকরণ এনথালপির পার্থক্য খুব কম এবং $E^{\circ} M^{3+}/M$ এর মান প্রায় ধ্রুব। যেখানে $\text{Sc}(\text{OH})_3$ একটি অ্যামফোটেরিক পদার্থ এবং ScF_3 ক্ষারধাতুর ফ্লোরাইড দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে জটিল গঠন করে সেখানে $\text{Y}(\text{OH})_3$ এবং $\text{La}(\text{OH})_3$ পুরাপুরিভাবে ক্ষারীয় এবং এদের অতিসামান্য দ্রবণীয় ফ্লোরাইডগুলি কেবল দ্বি-লবণ গঠন

করে। উদাহরণ : NaCaCdYF_8 এবং KLaF_4 । অতএব দেখা যায় Y এবং La মৌল দুটি ল্যান্থানাইড মৌলগুলির মত আচরণ করে।

জার্কোনিয়াম এবং হাফনিয়াম (Zirconium and Hafnium)

জার্কোনিয়াম এবং হাফনিয়ামের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ($\text{Zr} = 1.60$, $\text{Hf} = 1.59\text{\AA}$) এবং আয়নিক ব্যাসার্ধ ($\text{Zr}^{4+} = 0.72$, $\text{Hf}^{4+} = 0.71\text{\AA}$) প্রায় সমান। ফলে এদের রসায়নের মধ্যে মিল খুবই বেশি। এদের যৌগগুলিতে পার্থক্য সাধারণত খুব কম দেখা যায়, যেমন এদের দ্রাব্যতা এবং উদ্বায়ীতা প্রায় অভিন্ন।

টিটানিয়াম থেকে এদের নিম্নরূপ পার্থক্যগুলি দেখা যায় : (১) যেখানে Ti +4, +3 এবং +2 জারণ অবস্থার অনেকগুলি যৌগ গঠন করে সেখানে Zr এবং Hf এর ক্ষেত্রে খুব কম যৌগে জারণ অবস্থা +4 পাওয়া যায়।

(২) Ti^{4+} এর আয়নিক ব্যাসার্ধ (0.61\AA) থেকে Zr^{4+} এবং Hf^{4+} এর আয়নিক ব্যাসার্ধ যথেষ্ট বড় হওয়ার কারণে এদের জটিলে সন্নিবেশ সংখ্যা ছয় এর পরিবর্তে সাত এবং আট হয় এবং বিভিন্ন সন্নিবেশ পলিহেড্রন গঠিত হয়। উদাহরণ :

ZrF_6^{2-} : $\text{Li}_2 \text{ZrF}_6$ এবং $\text{CuZrF}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ এর ক্ষেত্রে অষ্টতলকীয়

ZrF_7^{3-} : $\text{Na}_3 \text{ZrF}_7$ এর ক্ষেত্রে পঞ্চভূজীয় দ্বি-পিরামিড

ZrF_8^{4-} : $\text{Cu}_2 \text{ZrF}_8 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ এর ক্ষেত্রে স্কয়ার অক্টাড্রিঞ্জম

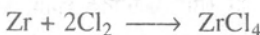
$\text{Zr}_2\text{F}_{12}^{4-}$: $\text{K}_2 \text{CuZr}_2\text{F}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ এর ক্ষেত্রে দুটি পঞ্চভূজীয় দ্বি-পিরামিড যারা একটি ধার শেয়ার করে।

জারকন, ZrSiO_4 , এবং ব্যাড্‌লাইট, ZrO_2 , আকরিকে Zr এবং Hf সর্বদা একসাথে পাওয়া যায় তবে উভয় আকরিকে Hf এর পরিমাণ মাত্র 2% হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন এবং আয়ন বিনিময় পদ্ধতিতে এদেরকে পৃথক করা যায়।

Zr এবং Hf এর রসায়নে পার্থক্য খুব কম হওয়ায় এখানে কেবল Zr সম্পর্কে আলোচনা করা হবে। অ্যানায়নটি রঙিন না হলে সবগুলি যৌগ বর্ণহীন হয়।

জার্কোনিয়াম (IV) দ্রবণে OH^- যোগ করে $\text{ZrO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ প্রস্তুত করা যায় এবং একে উত্তপ্ত করে ZrO_2 পাওয়া যায়। ZrO_2 এর গলনাংক অতি উচ্চ (2700°C) এবং রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এটি অত্যন্ত নিষ্ক্রিয়। ক্রিউসিবিল প্রস্তুত করার জন্য এবং ফার্নেসের ভেতরে উত্তাপসহ আবরণ সৃষ্টির জন্য এটি ব্যবহার করা হয়।

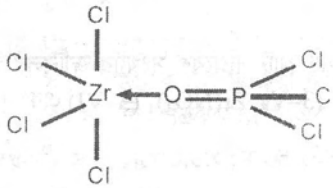
জার্কোনিয়াম এবং ক্লোরিনের মধ্যে সরাসরি বিক্রিয়া করে অথবা ZrO_2 এবং C এর একটি মিশ্রণের সাথে ক্লোরিনের বিক্রিয়া করে ZrCl_4 প্রস্তুত করা যায় :



বাষ্পীয় অবস্থায় এটি চতুস্তলকীয়, কিন্তু স্ফটিক অবস্থায় অষ্টতলকীয় $ZrCl_6$ এর একটি শিকল গঠিত হয় (3-I)।



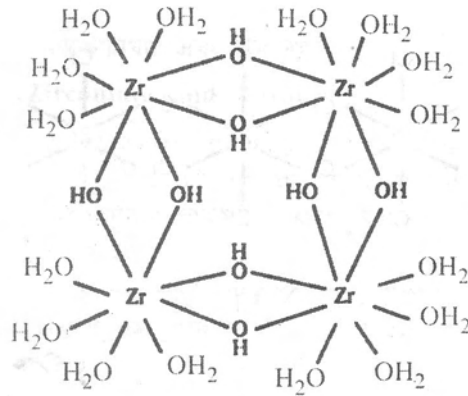
$TiCl_4$ এর মত $ZrCl_4$ একটি লুইস এসিড এবং Cl^- , $POCl_3$ ও ইথারের সাথে এক জোড়া ইলেকট্রন শেয়ার করে যুক্ত হয়। উদাহরণ : $ZrCl_4 \cdot POCl_3$ (3-II)।



সাধারণ তাপমাত্রায় $ZrCl_4$ আংশিকভাবে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে সুস্থিত যৌগ $ZrOCl_2$ গঠন করে :

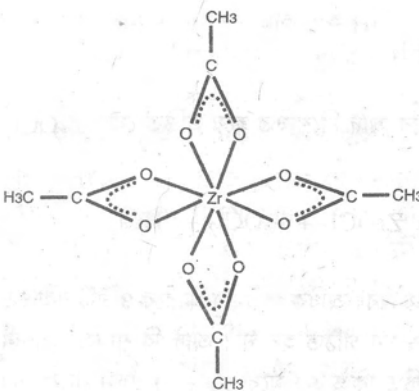


TiO_2 এর তুলনায় ZrO_2 বেশি ক্ষারকীয় এবং অধিক পরিমাণ ক্ষারকেও এটি দ্রবীভূত হয় না। তীব্র এসিড দ্রবণেও $Zr^{4+}(aq)$ আয়ন গঠিত হয় না। আর্দ্র বিশ্লেষিত আয়ন “জার্কোনাইল” আয়ন (ZrO^{2+}) বলে পরিচিত কিন্তু এর মধ্যে $Zr = O$ বন্ধন থাকে না। HCl দ্রবণ থেকে $ZrCl_4$ কে কেলাসিত করলে $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ এর কেলাস পাওয়া যার মধ্যে $[Zr_4(OH)_8(H_2O)_{16}]^{8+}$ আয়ন উপস্থিত থাকে (3-III)।

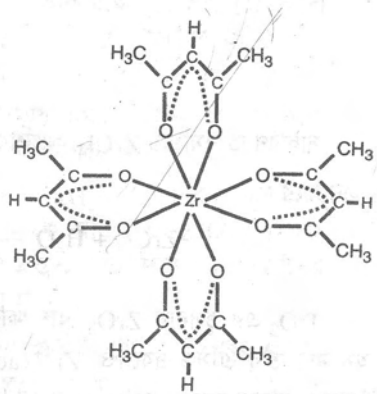


3 - III

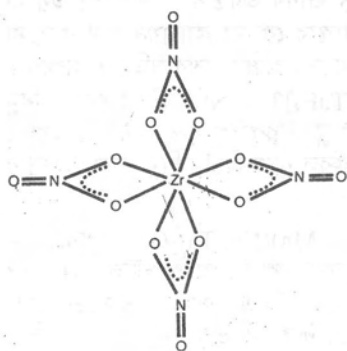
জার্কোনিয়ামের কয়েকটি আট সম্মিবেশ সংখ্যার জটিলের উদাহরণ হলো $Zr(OOC-CH_3)_4$ (3-IV), $Zr(acac)_4$ (3-V), $Zr(NO_3)_4$ (3-VI) এবং $[Zr(C_2O_4)_4]^{4-}$ (3-VII)।



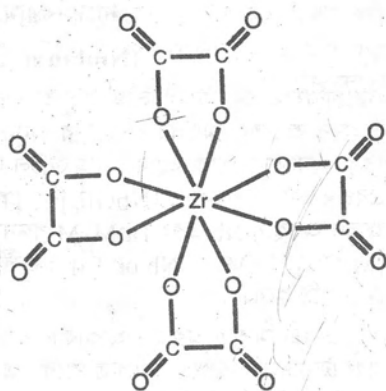
3-IV



3-V



3-VI

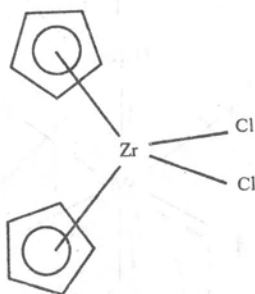


3-VII

গাঢ় HF দ্রবণ থেকে কেলাসিত জার্কোনিয়াম লবণগুলিতে $[ZrF_7]^{3-}$, $[ZrF_8]^{4-}$, $[Zr_2F_{12}]^{4-}$ ইত্যাদি আয়ন উপস্থিত থাকে।

Zr এবং Hf উভয়েই উত্তপ্ত অ্যাকোয়া রিজিয়া অথবা হাইড্রোফ্লোরিক এসিড দ্বারা আক্রান্ত হয়, হ্যালোজেনের সাথে উত্তপ্ত করলে বিক্রিয়া করে এবং অতি উচ্চ তাপমাত্রায় অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে। সবগুলি বিক্রিয়ার M^{4+} এর বর্ণহীন যৌগ গঠিত হয়।

জার্কোনিয়ামের কয়েকটি সাইক্লোপেন্টাডাইইনাইল যৌগ প্রস্তুত করা হয়েছে, একটি উদাহরণ হলো $Zr(C_5H_5)_2 Cl_2$ (3-VIII)।



3-VIII

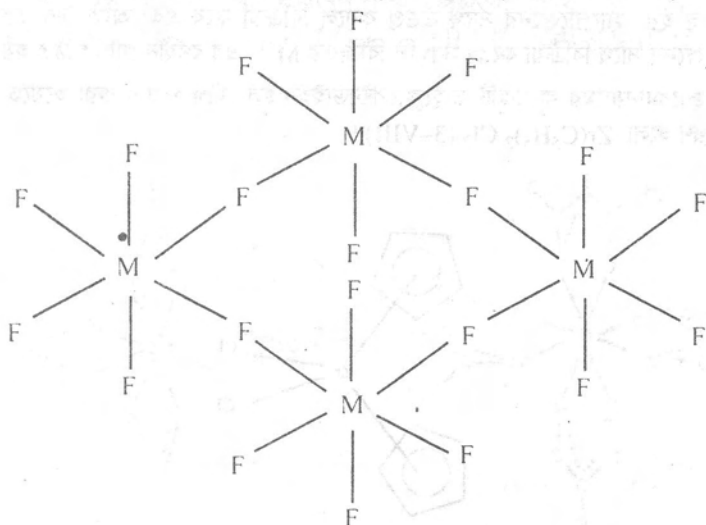
নায়োবিয়াম এবং ট্যানটালাম (Niobium and Tantalum)

নায়োবিয়াম এবং ট্যানটালাম ধাতু হলেও এদের +5 জারণ অবস্থার যৌগ গঠিত হয় যা সাধারণ অধাতব মৌলের রসায়নের অনুরূপ। এরা বাস্তবে কোনো ক্যাটায়ন সৃষ্টি করে না কিন্তু অসংখ্য সংখ্যক অ্যানায়নিক জটিল গঠন করে যাদের অধিকাংশের সন্নিবেশ সংখ্যা 7 এবং 8 হয়। উদাহরণ : $[\text{NbOF}_6]^{3-}$, $[\text{TaF}_7]^{2-}$, $[\text{TaF}_8]^{3-}$, $[\text{NbF}_7]^{2-}$ ইত্যাদি। নিম্ন জারণ অবস্থায় Nb এবং Ta M-M বন্ধনযুক্ত অনেক ক্লস্টার যৌগ সৃষ্টি করে। উদাহরণ : $[\text{M}_6\text{Cl}_{12}]^{4+}$ (M = Nb or Ta)। জলীয় দ্রবণে কেবল নায়োবিয়াম নিম্ন জারণ অবস্থার যৌগ সৃষ্টি করে।

একটি মিশ্রিত অক্সাইড আকরিক কোলুম্বাইট $(\text{Fe, Mn})(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_6$ এ নায়োবিয়াম এবং ট্যানটালাম একত্রে উপস্থিত থাকে। এদের পৃথক করার পদ্ধতি অতি জটিল। Nb এবং Ta উভয়েই অতি উজ্জ্বল, উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট কঠিন পদার্থ। এরা সাধারণ এসিডের সাথে সহজে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু HNO_3 - HF মিশ্রণে দ্রুত দ্রবীভূত হয়। তাপ বিগলিত NaOH এর মধ্যেও এটি ধীরে দ্রবীভূত হয়।

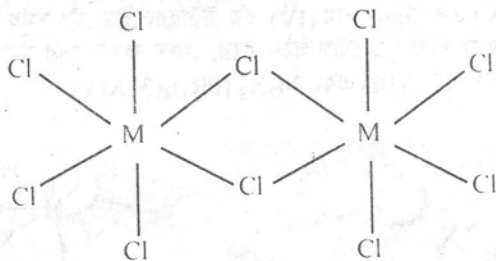
Nb এবং Ta এর প্রধান অক্সাইডগুলি হলো পেন্টোক্সাইড (M_2O_5), অন্য যৌগগুলিকে বাতাসে পোড়িয়ে এদেরকে প্রস্তুত করা যায়। HF ছাড়া অন্য কোনো এসিডে এরা দ্রবীভূত হয় না, কিন্তু তাপ বিগলিত NaHSO_3 অথবা NaOH এর মধ্যে দ্রবীভূত হয়।

ফ্লোরিনের সাথে সরাসরি বিক্রিয়া করে NbF_5 এবং TaF_5 যৌগ দুটি প্রস্তুত করা যায়। এরা উদ্বায়ী কঠিন পদার্থ। এদের টেট্রামারিক (tetrameric) কাঠামো থাকে (3-IX)।



(M = Nb অথবা Ta)

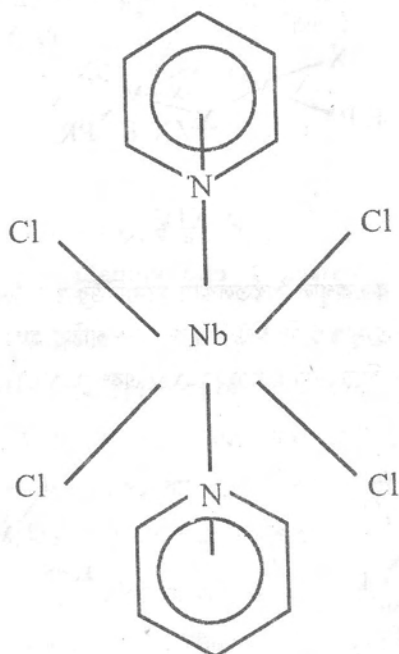
পেন্টাক্লোরাইডগুলি হলুদ কঠিন পদার্থ যা সরাসরি ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়া করে প্রস্তুত করা যায়। আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে এরা হাইড্রাস অক্সাইডে পরিণত হয়। কেলাসিত অবস্থায় এবং CCl_4 এর মত দ্রাবকে ক্লোরাইডগুলি ডাইমারিক অবস্থায় থাকে (3-X)। অক্সিজেনদাতা



(M = Nb অথবা Ta)

3-X

লিগ্যান্ডগুলি (যেমন Me_2SO) থেকে উভয় হ্যালাইড অক্সিজেন গ্রহণ করে অক্সোহ্যালাইড (MOX_3) গঠন করে। অ্যামিনসমূহ নায়োবিয়াম পেন্টাক্লোরাইড, $\text{Nb}_2\text{Cl}_{10}$, কে বিজারিত করে Nb^{4+} জটিল সৃষ্টি করে, উদাহরণ $\text{NbCl}_4(\text{py})_2$ (3-XI)।



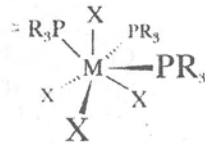
3-XI

হ্যালাইডগুলি লুইস এসিড হিসেবে আচরণ করে এবং ছয়, সাত, আট সন্নিবেশ সংখ্যার অনেক জটিল গঠন করে। উদাহরণ : $[\text{NbF}_6]^-$, $[\text{NbOF}_5]^{2-}$, $[\text{NbF}_7]^{2-}$, $[\text{NbOF}_6]^{3-}$, $[\text{TaF}_6]^-$, $[\text{TaF}_7]^{2-}$, $[\text{TaF}_8]^{3-}$ ।

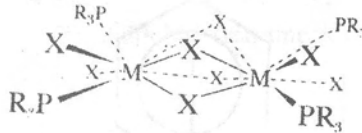
নায়োবিয়াম (IV) এবং ট্যানটালাম (IV) এর টেট্রাহ্যালাইড যৌগসমূহ সুপরিচিত। এরা সহজে উচ্চ সন্নিবেশ সংখ্যার যুত যৌগ গঠন করে, যেমন ফসফিনের সাথে $\text{M}(\text{PR}_3)_2\text{X}_4$ (3-XII), $\text{M}(\text{PR}_3)_3\text{X}_4$ (3-XIII) এবং $\text{M}_2\text{X}_8(\text{PR}_3)_4$ (3-XIV) যৌগগুলি গঠিত হয়।



3-XII

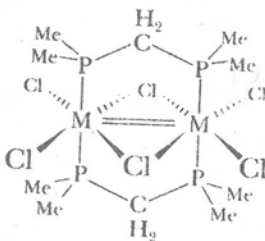


3-XIII

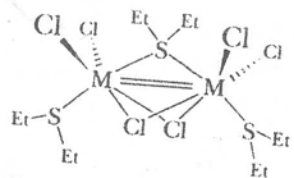


3-XIV

Nb^{III} এবং Ta^{III} কতকগুলি অষ্টতলকীয় মনোনিউক্লীয় জটিল গঠন করে, আবার ধাতু-ধাতু দ্বিবন্ধনযুক্ত অতি সুস্থিত দ্বি-নিউক্লীয় জটিলও গঠিত হয়। দুটি উল্লেখযোগ্য দ্বি-নিউক্লীয় জটিলের উদাহরণ নিচে দেয়া হয়েছে (3-XV এবং 3-XVI)।

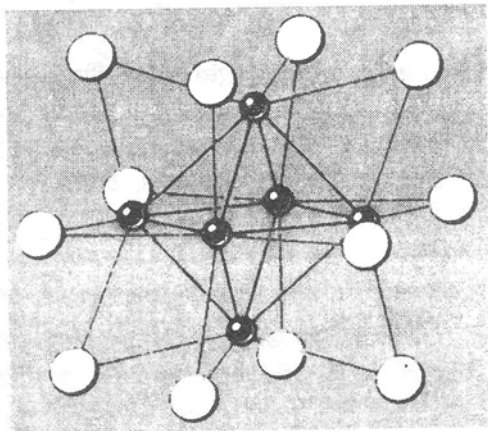


3-XV



3-XVI

$[M_6X_{12}]^{n+}$ একক যুক্ত কিছু হ্যালাইড যৌগ Nb এবং Ta উভয়ের ক্ষেত্রে প্রস্তুত করা হয়েছে। ধাতু পরমাণুগুলি একটি অষ্টতলকের কৌণিক বিন্দুগুলিতে অবস্থিত এবং হ্যালোজেন পরমাণুগুলি অষ্টতলকের ধার থেকে বাইরের দিকে দুটি করে ধাতু পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে ক্লস্টার কাঠামো গঠন করে (চিত্র 3-XVII)।

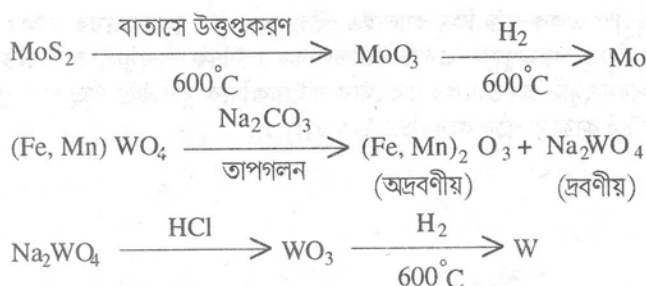


3-XVII

মলিবডিনাম এবং টাংস্টেন
(Molybdenum and Tungsten)

π -এসিডের সাথে জটিল গঠন ছাড়া আর কোনো দিক দিয়ে প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌল ক্রোমিয়ামের সাথে মলিবডিনাম এবং টাংস্টেনের মিল খুঁজে পাওয়া যায় না। যেমন Mo_2^{4+} ছাড়া অন্য কোথাও Mo এর +2 জারণ অবস্থা দেখা যায় না। Cr^{III} এর মত উচ্চ সুস্থিতির তুলনা M^{III} এবং W^{III} এর ক্ষেত্রে পাওয়া যায় না। Mo এবং W এর ক্ষেত্রে উচ্চতর জারণ অবস্থা অধিক পরিচিত এবং বিজারণের বিরুদ্ধে বেশি সুস্থিত।

প্রধানত মলিবডেনাইট (MoS_2) হিসেবে মলিবডিনাম পাওয়া যায় এবং টাংস্টেসমূহে (যেমন $CaWO_4$ এবং $Fe(Mn)WO_4$) ট্যাংস্টেন পাওয়া যায়। নিচের পদ্ধতি দুটি অনুসরণ করে এদেরকে আকরিক থেকে আলাদা করা হয়।

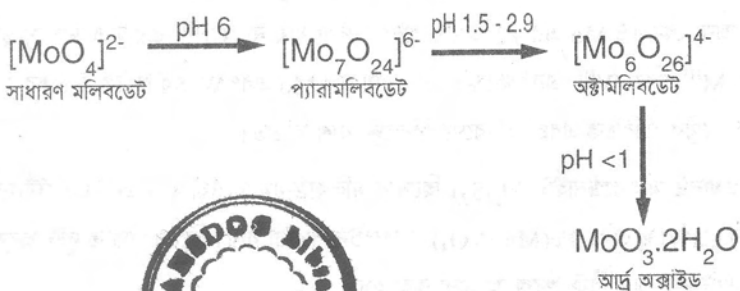


Mo এবং W উভয় ধাতুর প্রধান ব্যবহার হলো অ্যালয় স্টীল প্রস্তুতকরণে। ধাতু দুটি সামান্য পরিমাণ যোগ করলেও স্টীলের কাঠিন্য এবং শক্তি অনেক পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। বাল্ফের ফিলামেন্ট প্রস্তুতের জন্য টাংস্টেন ব্যবহৃত হয়। উচ্চ তাপমাত্রায় B, C, N অথবা Si এর সাথে সরাসরি বিক্রিয়া করে উভয় ধাতু অতি কঠিন, তাপসহ এবং রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয় ইন্টারসিটিসিয়াল যৌগ গঠন করে। ধাতু কাটার যন্ত্রের অগ্রভাগে টাংস্টেন কার্বাইড লাগানো থাকে।

মলিবডিনামের এর কতিপয় যৌগ বিভিন্ন বিক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

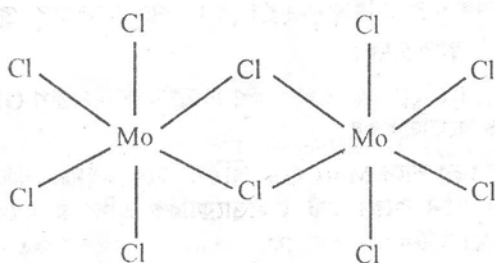
Mo এবং W এর যৌগগুলিকে উচ্চ তাপমাত্রায় বাতাসে উত্তপ্ত করলে MO_3 যৌগ পাওয়া যায়। MoO_3 সাদা এবং WO_3 হলুদ। HF ছাড়া অন্য কোনো এসিড দ্বারা এরা আক্রান্ত হয় না, কিন্তু ক্ষার দ্রবণে দ্রবীভূত হয়ে মলিবডেট অথবা টাংস্টেট উৎপন্ন করে। ক্ষার ধাতু অথবা অ্যামোনিয়াম আয়নের পানিতে দ্রবণীয় লবণগুলিতে MoO_4^{2-} বা WO_4^{2-} আয়ন উপস্থিত থাকে। অন্য ধাতুগুলি অদ্রবণীয় লবণ দেয়। ভরমিতিক পদ্ধতিতে Mo এর পরিমাণ নির্ণয়ের জন্য PbMoO_4 ব্যবহার করা হয়।

মলিবডেট এবং টাংস্টেট লবণগুলির দ্রবণকে সামান্য এসিডীয় করলে ঘনীভবন বিক্রিয়ার মাধ্যমে জটিল পলিঅ্যানায়ন গঠিত হয়। অধিক এসিডীয় দ্রবণে আর্দ্র অক্সাইড $\text{MoO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (হলুদ) এবং $\text{WO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (সাদা) গঠিত হয়। এগুলিতে MO_6 অষ্টতলকগুলি কর্ণার শেয়ার করে অবস্থান করে।

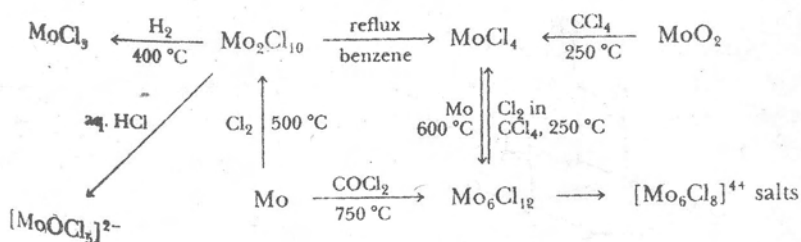


F₂ এর সাথে বিক্রিয়া করে Mo এবং W বর্ণহীন হেক্সাফ্লোরাইড MoF₆ (b.p.35°C) এবং WF₆ (b.p.17°C) গঠন করে। উভয় যৌগই অতি সহজে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়।

উত্তপ্ত মলিবডিনামকে ক্লোরিনেশন করলে কেবল ডাইমারিক পেটাক্লোরাইড (Mo₂Cl₁₀) গঠিত হয়। এটি একটি অন্ধকার-লাল কঠিন পদার্থ যার গাঠনিক সংকেত নিম্নরূপ (3-XVIII) :



পোলার জৈব দ্রাবক এবং বেনজিনে Mo₂Cl₁₀ যৌগ দ্রবীভূত হয়। দ্রবণে এটি মনোমার হিসেবে অবস্থান করে এবং সম্ভবত দ্রাবকযুক্ত থাকে। অক্সিজেনযুক্ত দ্রাবক থেকে এটি সহজে অক্সিজেন টেনে নিয়ে অক্সো যৌগ গঠন করে এবং পানি দ্বারা দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। অন্যান্য মলিবডিনাম ক্লোরাইড যৌগের প্রস্তুতি ৩.১ চিত্রে দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৩.১ : মলিবডিনাম ক্লোরাইডসমূহের বিভিন্ন প্রস্তুত পদ্ধতি।

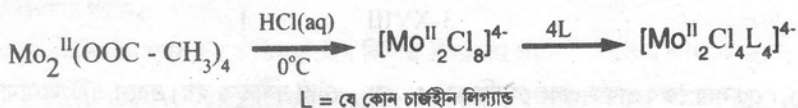
উত্তপ্ত টাংস্টেনকে ক্লোরিনেশন করে অন্ধকার নীল-কাল মনোমারিক হেক্সাক্লোরাইড যৌগ WCl₆ পাওয়া যায়। CS₂, CCl₄, অ্যালকোহল এবং ইথারে এটি দ্রবণীয়। শীতল পানির সাথে এটি ধীরে এবং উত্তপ্ত পানির সাথে দ্রুত বিক্রিয়া করে টাংস্টিক এসিড দেয়। ডাইঅ্যালকাইল অ্যামাইড, অ্যালকোক্সাইড, জৈব ধাতব যৌগ এবং কার্বোনিলসমূহ প্রস্তুতের জন্য Mo₂Cl₁₀ এবং WCl₆ প্রারম্ভিক যৌগ হিসেবে ব্যবহৃত হয়। ইথার দ্রবণে WCl₆ মিথাইল লিথিয়ামের সাথে বিক্রিয়া করে W(CH₃)₆ উৎপন্ন করে। অবস্থান্তর মৌলসমূহের প্রথম প্রস্তুতকৃত অ্যালকাইল যৌগগুলির মধ্যে এটি অন্যতম।

Mo এবং W উভয়ের ক্ষেত্রে উচ্চতর ক্লোরাইড যৌগের বিয়োজন থেকে MCl_2 স্থূল সংকেতবিশিষ্ট হলুদ যৌগ পাওয়া যায়। এরা 'ডাইহ্যালাইড' বলে পরিচিত, কিন্তু প্রকৃতপক্ষে যৌগ দুটিতে $[M_6Cl_8]^{4+}$ ক্লস্টার আয়ন উপস্থিত থাকে অর্থাৎ এদের প্রকৃত আণবিক সংকেত $[M_6Cl_8]Cl_4$ ।

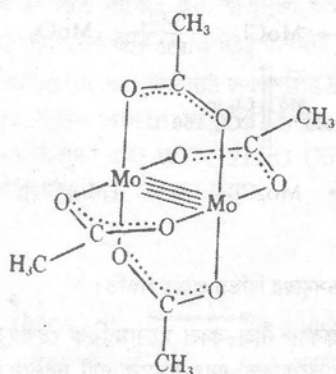
$[M_6Cl_8]^{4+}$ ক্লস্টার আয়নে উপস্থিত সেতু-বন্ধন সৃষ্টিকারী ক্লোরাইডগুলি খুব ধীরে প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া করতে পারে কিন্তু $[M_6Cl_8]Cl_4$ যৌগের আয়নিক ক্লোরাইডগুলি অন্য লিগ্যান্ড দ্বারা দ্রুত প্রতিস্থাপিত হয়।

জলীয় দ্রবণে $[M_6Cl_8]^{4+}$ এককগুলি তীব্র নিউক্লীয়ফিলিক গ্রুপ OH^- , CN^- , SH^- ইত্যাদির উপস্থিতিতে বিয়োজিত হয়।

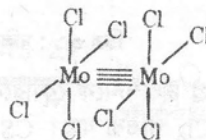
অ্যাসিটিক এসিডের সাথে $Mo(CO)_6$ বিক্রিয়া করে ডাইমার যৌগ $Mo_2(OOC-CH_3)_4$ (3-XIX) গঠন করে। এটি হাইড্রোক্লোরিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে $[Mo_2Cl_8]^{4-}$ (3-XX) জটিল গঠন করে যেখানে Mo-Mo বন্ধন অক্ষত থাকে :



ডাইমারিক যৌগ $Mo_2(OOC-CH_3)_4$ (3-XIX) এবং $[Mo_2Cl_8]^{4-}$ (3-XX) উভয়ের মধ্যে দুটি ধাতব পরমাণু চারটি বন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে।

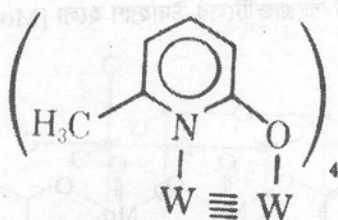


3-XIX



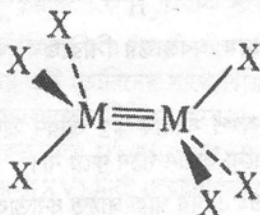
3-XX

$W(CO)_6$ এর সাথে 2-মিথাইল-6 হাইড্রোক্সিপিরিডিন বিক্রিয়া করে ডাইমার জটিল 3-XXI গঠন করে যার মধ্যে দুটি টাংস্টেনের মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে :



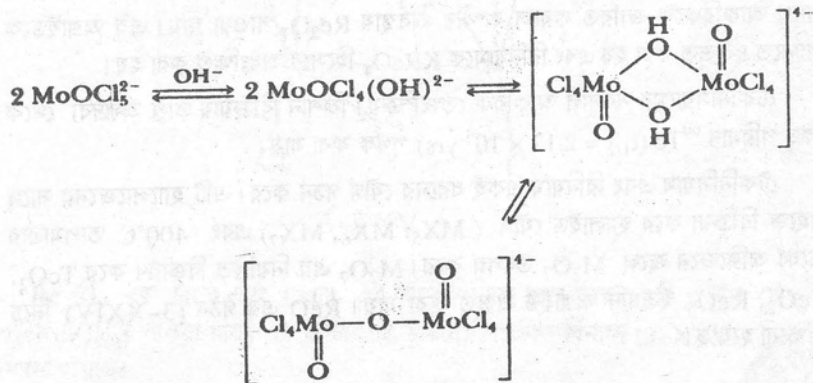
3-XXI

Mo এবং W উভয়ের ক্ষেত্রে ধাতু-ধাতু ত্রি-বন্ধনযুক্ত M_2X_6 ($X = R, NR_2, OR$) (3-XXII) যৌগ প্রস্তুত করা যায় :

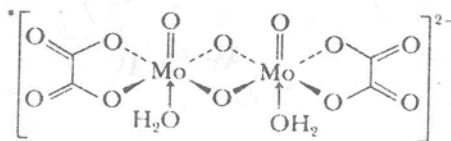


3-XXII

HCl এর গাঢ় জলীয় দ্রবণে Mo_2Cl_{10} দ্রবীভূত করে অথবা HCl দ্রবণে $[MoO_4]^{2-}$ আয়নকে বিজারিত করে $[Mo^V OCl_5]^{2-}$ জটিল প্রস্তুত করা যায়। Mo^V এর অন্যান্য জটিল প্রস্তুত করার জন্য এটি ব্যবহৃত হয়। যেমন এসিড দ্রবণে NaOH যোগ করলে বিভিন্ন ডাইমারিক জটিল সৃষ্টি হয় :



Mo^v এর আর একটি অক্সোজটিলের উদাহরণ হলো [Mo^vO₄(C₂O₄)₂(H₂O)₂]²⁻ (3-XXIII)।



3-XXIII

টেকনিসিয়াম এবং রিনিয়াম (Technetium and Rhenium)

টেকনিসিয়াম এবং রিনিয়াম প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের মৌল ম্যাংগানিজ থেকে অনেক পৃথক। যেমন—

(ক) Tc এবং Re অতি অল্প সংখ্যক +2 জারণ অবস্থার জটিল গঠন করে। এরা Mn²⁺(aq) আয়নের অনুরূপ কোনো আয়ন গঠন করে না।

(খ) কোনো জারণ অবস্থাতেই এদের দ্বারা গঠিত ধনাত্মকমূলক পাওয়া যায় না।

(গ) উভয় মৌল IV এবং V জারণ অবস্থায় প্রচুর যৌগ গঠন করে, বিশেষ করে V অবস্থায় অক্সো যৌগ পাওয়া যায়।

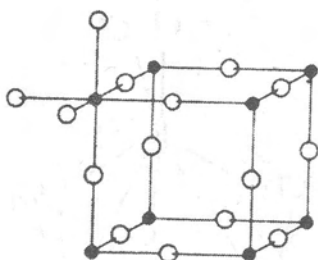
(ঘ) MnO₄⁻ আয়নের তুলনায় MO₄⁻ আয়নগুলি অত্যন্ত দুর্বল জারক হিসেবে কাজ করে।

(ঙ) II থেকে IV পর্যন্ত সকল জারণ অবস্থায় M-M বন্ধন সৃষ্টি করে।

রিনিয়ামকে অতি অল্প পরিমাণে মলিবডিনাম আকরিকের সাথে পাওয়া যায়। বাতাসের সাথে আকরিককে জারিত করলে বাষ্পীয় অবস্থায় Re₂O₇ পাওয়া যায়। এই অক্সাইডকে পানিতে দ্রবীভূত করা হয় এবং রিনিয়ামকে KReO₄ হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়।

টেকনিসিয়ামের সবগুলি আকরিক তেজস্ক্রিয়। ফিশান বিক্রিয়ায় প্রাপ্ত অপদ্রব্য থেকে কিছু পরিমাণ ⁹⁹Tc (t_{1/2} = 2.12 × 10⁵ yrs) পৃথক করা যায়।

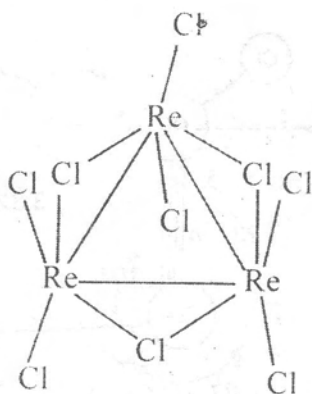
টেকনিসিয়াম এবং রিনিয়াম একই ধরনের যৌগ গঠন করে। এটি হ্যালাজেনের সাথে সহজে বিক্রিয়া করে হ্যালাইড যৌগ (MX₅, MX₆, MX₇) এবং 400°C তাপমাত্রার উর্ধ্বে অক্সিজেনে জ্বলে M₂O₇ উৎপন্ন করে। M₂O₇ এর নিয়ন্ত্রিত বিজারণ করে TcO₂, ReO₂, ReO₃ ইত্যাদি অক্সাইড প্রস্তুত করা যায়। ReO₃ এর গঠন (3-XXIV) নিচে দেখানো হয়েছে।



3-XXIV

Re_2O_7 -কে NaOH এ দ্রবীভূত করে পাররিনেট আয়ন, ReO_4^- , প্রস্তুত করা যায়। HCl অথবা H_2SO_4 এ ReO_4^- এর দ্রবণকে H_2S দ্বারা সংপৃক্ত করে Re_2S_7 পাওয়া যায়।

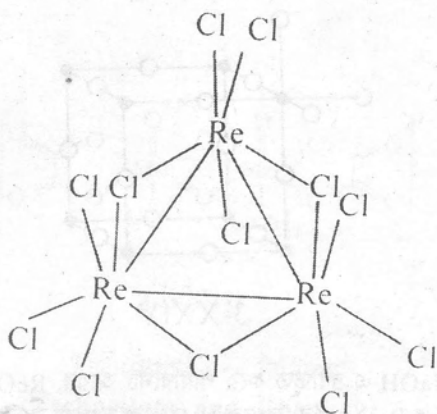
রিনিয়াম ফ্লোরিনের সাথে বিক্রিয়া করে উদ্বায়ী যৌগ ReF_6 এবং ReF_7 উৎপন্ন করে। আনুমানিক 550°C তাপমাত্রায় এটি ক্লোরিনের সাথে বিক্রিয়া করে $\text{Re}_2\text{Cl}_{10}$ গঠন করে। ReF_6 এবং BCl_3 এর মধ্যে হ্যালাজেন বিনিময় করে ReCl_6 প্রস্তুত করা যায়। বিভিন্ন অবস্থায় $\text{Re}_2\text{Cl}_{10}$ -কে বিজারিত করে ReCl_4 এবং Re_3Cl_9 পাওয়া যায়। Re_3Cl_9 একটি ক্লুস্টার যৌগ যার গঠন (3-XXV) নিচে দেখানো হয়েছে।



3-XXV

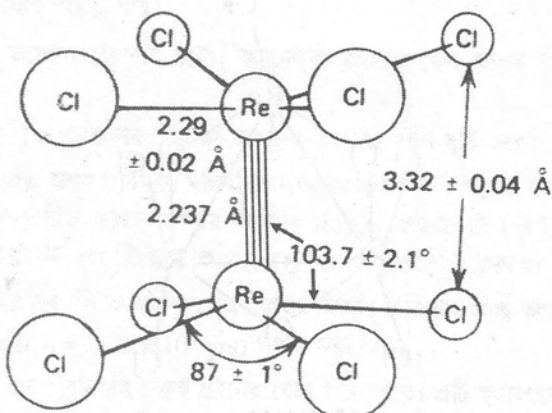
Re_3Cl_9 -কে HCl এবং CsCl এর সাথে বিক্রিয়া করে আর একটি ক্লুস্টার যৌগ $\text{Cs}_3[\text{Re}_3\text{Cl}_{12}]$ পাওয়া যায়। এর ক্লুস্টার অ্যানায়নের গাঠনিক বিন্যাস (3-XXVI) নিচে দেখানো হয়েছে।





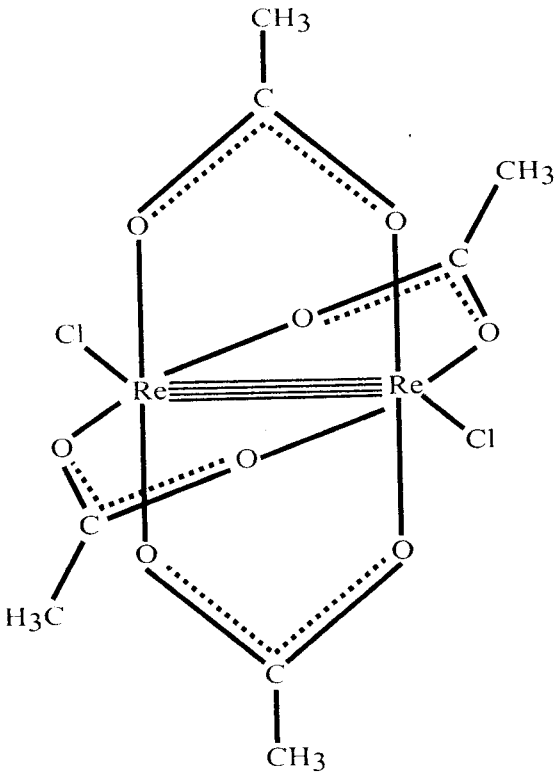
3-XXVI

হাইড্রোক্সিক্লোরিক এসিডে পারারিনেট আয়ন (ReO_4^-)-কে হাইড্রোজেন দ্বারা বিজারিত করে একটি সম্পূর্ণ পৃথক Re (III) জটিল $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ (3-XXVII) পাওয়া যায়। এ জটিলে দুটি Re এর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে।



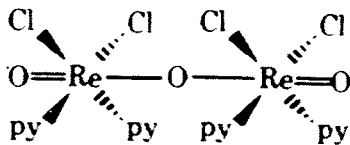
3-XXVII

দুটি Re এর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে এরূপ আর একটি জটিল হলো $\text{Re}_2(\text{OOC-CH}_3)_4\text{Cl}_2$ (3-XXVIII)।



3-XXVIII

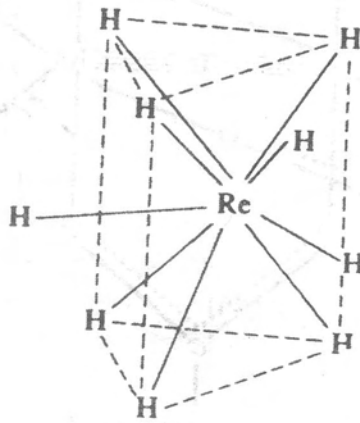
Re প্রচুর সংখ্যক অক্সো জটিল গঠন করে। গাঢ় HCl দ্রবণে $\text{Re}_2\text{Cl}_{10}$ কে দ্রবীভূত করলে অক্সো জটিল আয়ন $[\text{ReOCl}_5]^{2-}$ পাওয়া যায়। অক্সো জটিলগুলিতে $\text{Re}=\text{O}$, $\text{Re}-\text{O}-\text{Re}$, $\text{trans}-\text{O}=\text{Re}=\text{O}$ এবং $\text{O}=\text{Re}-\text{O}-\text{Re}=\text{O}$ গ্রুপগুলি থাকতে পারে। $[\text{ReOCl}_2\text{py}_2]_2\text{O}$ (3-XXIX) জটিলটির গঠন নিচে দেখানো হয়েছে।



3-XXIX

ফসফিন লিগ্যান্ড সংবলিত অক্সো রিনিয়াম (V) জটিলগুলির সংখ্যা অনেক। HCl-যুক্ত ইথানল দ্রবণে $[\text{ReO}_4]^-$ এবং PR_3 এর মধ্যে বিক্রিয়া করে $\text{ReOCl}_3(\text{PR}_3)_2$ যৌগগুলি প্রস্তুত করা যায়। $\text{Re}=\text{O}$ বন্ধনের বিপরীত দিকে অবস্থিত হ্যালাইড আয়ন (অথবা অন্য লিগ্যান্ড) সহজেই অন্য কোনো লিগ্যান্ড দ্বারা প্রতিস্থাপিত হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, ইথানলে এটি সহজে $\text{ReOCl}_2(\text{OC}_2\text{H}_5)(\text{PR}_3)_2$ গঠন করে।

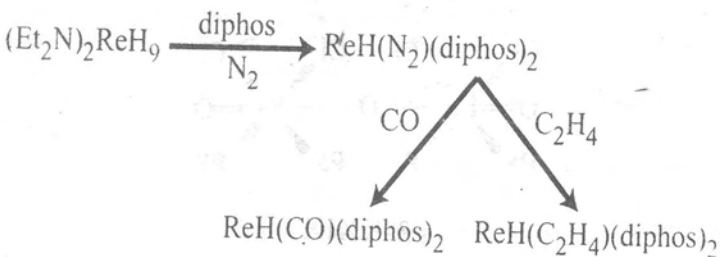
Re এর ক্ষেত্রে Re-H বন্ধনযুক্ত অনেক যৌগ পাওয়া যায়। একটি অনন্য সাধারণ অ্যানায়ন $[\text{ReH}_9]^{2-}$ এর গঠন (3-XXX) নিচে দেখানো হয়েছে।



3-XXX

বিভিন্ন হাইড্রিডো জটিল প্রস্তুতের উৎস হিসেবে $[\text{ReO}_9]^{2-}$ আয়ন ব্যবহৃত হয়।

উদাহরণ :



প্লাটিনাম ধাতুসমূহ (The Platinum Metals)

সাধারণ আলোচনা (General Discussion)

রুথিনিয়াম, অসমিয়াম, রোহডিয়াম, ইরিডিয়াম, প্যালাডিয়াম এবং প্লাটিনাম এ ছয়টি মৌলকে একত্রে প্লাটিনাম ধাতু বলা হয়। এরা সবগুলি বিরল মৌল। এদেরকে ধাতু হিসেবে একত্রে অথবা কপার ও নিকেলের সালফাইড আকরিকে পাওয়া যায়। কপার ও নিকেলকে পৃথক এবং বিদ্যুৎ বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে বিশোধন করার পর প্লাটিনাম ধাতুসমূহ, সিলভার এবং গোল্ড অ্যানোডে সৃষ্ট কাদা হিসেবে থেকে যায়। এ কাদা থেকে বিভিন্ন জটিল পদ্ধতিতে ধাতুগুলিকে আলাদা করা যায়।

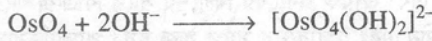
বেশিরভাগ প্লাটিনাম ধাতু তুলনামূলকভাবে মহান প্রকৃতির এবং এদের অধিকাংশ যৌগগুলিকে উত্তপ্ত করলে ধাতু সৃষ্টি হয়। তবে, অসমিয়াম সহজে বায়ু দ্বারা জারিত হয়ে উদ্বায়ী টেট্রোক্সাইড এবং রুথিনিয়াম অনুদ্বায়ী ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। সবগুলি ধাতু হাইড্রোক্লোরিক এসিড এবং জারক পদার্থের মিশ্রণের সাথে বিক্রিয়া করে এবং 300–600°C তাপমাত্রার মধ্যে ফ্লোরিন এবং ক্লোরিনের সাথে যুক্ত হয়। প্যালাডিয়াম এবং প্লাটিনাম তাপ বিগলিত অ্যালকালি দ্বারাও আক্রান্ত হয়। কতকগুলি বিষয়ে ধাতুগুলির মধ্যে মিল লক্ষ্য করা যায়। এদের রসায়ন প্রধানত জটিল যৌগের রসায়ন, এরা সাধারণত সরল ক্যাটায়ন গঠন করে না। সবগুলি ধাতু কতকগুলি পৃথক জারণ অবস্থা দেখায়। π -গ্রহীতা লিগ্যান্ড CO, NO, PMe_3 , PPh_3 ইত্যাদির সাথে এরা অসংখ্য জটিল গঠন করে এবং এদের অনেকগুলি সুস্থিত জৈব ধাতব যৌগও গঠিত হয়। ধাতুগুলি, বিশেষ করে Pd এবং Pt, অত্যন্ত প্রয়োজনীয় অসমসত্ত্ব প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। যেখানে খুব শক্ত ধাতুর প্রয়োজন হয় সেখানে এ ধাতুগুলি ব্যবহৃত হয়, তাছাড়া অলংকার প্রস্তুতের কাজেও এরা ব্যবহৃত হয়। প্যালাডিয়াম এবং রোহডিয়ামের জৈব যৌগগুলি বহুমুখী সমসত্ত্ব প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। প্যালাডিয়াম ধাতু হাইড্রোজেনের শোষক হিসেবে বিখ্যাত। এক ধরনের ফর্মুলাযুক্ত প্রায় সব প্লাটিনাম ধাতুর যৌগগুলির গাঠনিক কাঠামো এক রকম হয়। Ru ও Os, Rh ও Ir এবং Pd ও Pt এর অনুরূপ যৌগগুলির আকারও প্রায় সমান হয়। উদাহরণস্বরূপ, $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ এবং $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ আয়ন দুটিতে ধাতু-ক্লোরিন বন্ধন দূরত্ব যথাক্রমে 2.318 এবং 2.316 Å যা প্রায় সমান। এ অধ্যায়ে বর্ণিত অন্য ধাতুগুলির মত না হয়ে প্লাটিনাম ধাতুগুলির সন্নিবেশ সংখ্যা খুব কম ক্ষেত্রেই ছয় থেকে বেশি হয়।

এত মিল থাকা সত্ত্বেও বিভিন্ন প্লাটিনাম ধাতুর জারণ অবস্থাগুলির সুস্থিতিতে পার্থক্য দেখা যায়। যেমন সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা Ru এর ক্ষেত্রে 3, 4 ও 6, Os এর ক্ষেত্রে 4, 6 ও 8, Rh এর ক্ষেত্রে 3, Ir এর ক্ষেত্রে 3 ও 4, Pd এর ক্ষেত্রে 2, এবং প্লাটিনামের ক্ষেত্রে 2 ও 4।

রুথিনিয়াম এবং অসমিয়াম (Ruthenium and Osmium)

উভয় ধাতু উদ্বায়ী হলুদ অক্সাইড MO_4 (RuO_4 : m. p. $25^\circ C$, b. p. $40^\circ C$; OsO_4 : m. p. $40^\circ C$, b. p. $101^\circ C$) গঠন করে। দুটি অক্সাইডের মধ্যে OsO_4 অধিকতর সুস্থিত। সুক্ষ্ম চূর্ণ Os ধাতুকে অক্সিজেন অথবা নাইট্রিক এসিডে উত্তপ্ত করে OsO_4 প্রস্তুত করা যায়, কিন্তু RuO_4 প্রস্তুতের জন্য সালফিউরিক এসিডে ব্রোমেট অথবা পারম্যাংগানেটসহ উত্তপ্ত করতে হয়। পানিতে উভয় টেট্রাক্সাইড প্রায় অদ্রবণীয়, কিন্তু কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে দ্রবণীয়। এদের আকৃতি সুঘন চতুস্তলকীয়। $180^\circ C$ তাপমাত্রার উর্ধ্বে RuO_4 বিস্ফোরিত হয়ে RuO_2 এবং O_2 উৎপন্ন করে। RuO_4 এবং OsO_4 উভয়েই জৈব রসায়নে প্রয়োজনীয় জারক পদার্থ। Os এবং OsO_4 একত্রে উত্তপ্ত করলে OsO_2 গঠিত হয়।

ক্ষার দ্রবণে OsO_4 দ্রবীভূত করলে একটি বর্ণহীন অক্সো অ্যানায়ন $[OsO_4(OH)_2]^{2-}$ পাওয়া যায় :

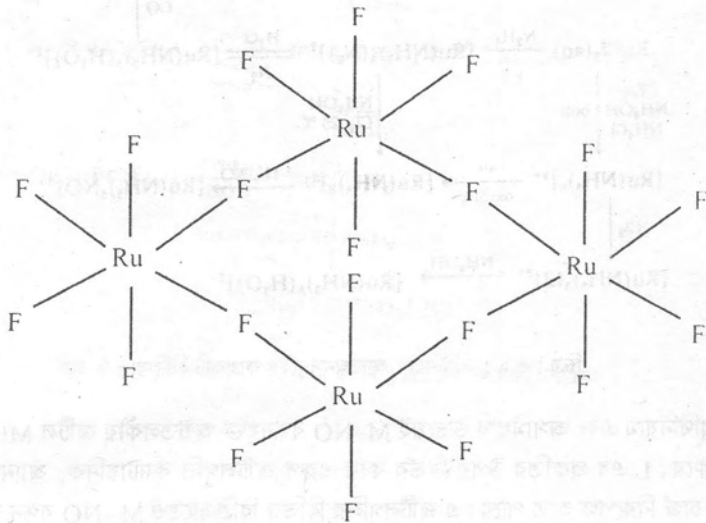


একে ইথানল দ্বারা বিজারিত করে $[OsO_2(OH)_4]^{2-}$ উৎপন্ন করা যায়।

রুথিনিয়ামের জন্য সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য অক্সো অ্যানায়ন হলো কমলা বর্ণের $[RuO_4]^{2-}$, রুথিনিয়াম যৌগগুলিকে Na_2O_2 -সহ তাপবিগলিত করে পানিতে দ্রবীভূত করলে এটি পাওয়া যায়।

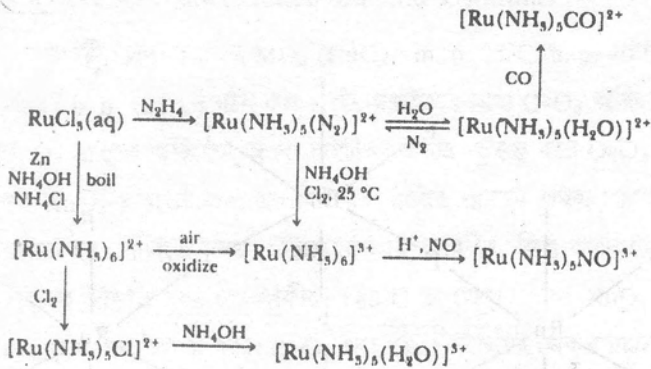
KCl এর উপস্থিতিতে RuO_4 -কে HCl দ্বারা বিজারিত করলে লাল কেলাস হিসেবে $K_4 [Ru^{IV}_2 OCl_{10}]$ পাওয়া যায়।

রুথিনিয়ামের উচ্চতম ফ্লোরাইড যৌগ হলো RuF_6 । উচ্চ চাপে Ru-কে F_2 এর সাথে উত্তপ্ত করলে যে গ্যাসীয় পদার্থ পাওয়া যায় তাকে দ্রুত শীতল করলে একে একটি অস্থায়ী কঠিন পদার্থ হিসেবে পাওয়া যায়। ফ্লোরিনেশন বিক্রিয়ায় প্রাপ্ত সাধারণ ফ্লোরাইড যৌগটি হলো RuF_5 যার একটি টেট্রামারিক কাঠামো থাকে (3-XXXI)। মৃদু বিজারক পদার্থের ক্রিয়ায় এটি RuF_4 এবং RuF_3 -তে পরিবর্তিত হয়। রুথিনিয়ামের সর্বোচ্চ ফ্লোরাইড যৌগ হলো $RuCl_3$, কিন্তু হাইড্রোক্লোরিক এসিডে RuO_4 এর বিক্রিয়া থেকে $[Ru^{IV}_2 OCl_{10}]^{4-}$, $[Ru^{III}Cl_5 (H_2O)]^{2-}$ এবং $[Ru^{III}Cl_6]^{3-}$ জটিল আয়নগুলিও পাওয়া যায় ; $[Ru^{III}Cl_6]^{3-}$ আয়নকে Cl_2 দ্বারা জারিত করে $[Ru^{IV}Cl_6]^{2-}$ আয়ন প্রস্তুত করা যায়।



3-XXXI

অসমিয়ামের সর্বোচ্চ ফ্লোরাইড যৌগ হলো OsF₇। অসমিয়ামের সাথে অধিক পরিমাণ F₂ এর বিক্রিয়া করে এটি প্রস্তুত করা যায়। ফ্লোরিনের পরিমাণ কম হলে OsF₆ গঠিত হয়। আবার OsF₆ কে বিজারিত করে OsF₅ এবং OsF₄ প্রস্তুত করা যায়। অসমিয়াম Cl₂ এর সাথে বিক্রিয়া করে একটি সুস্থিত ক্লোরাইড OsCl₄ গঠন করে। OsO₄ হাইড্রোক্লোরিক এসিড দ্বারা বিজারিত হয়ে ট্রান্স-[Os^{VI}O₂Cl₄]²⁻, [Os^{IV}O₂OCl₁₀]²⁻ এবং [Os^{IV}Cl₆]²⁻ গঠন করে। নাইট্রোজেন দাতা লিগ্যান্ডগুলি বুথিনিয়ামের সাথে অনেক ধরনের জটিল যৌগ গঠন করে। ৩.২ চিত্রে এরূপ কিছু বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে। [Ru(NH₃)₅]²⁺ গ্রুপের উল্লেখযোগ্য π বন্ধন ক্ষমতা আছে। CO, RNC, N₂O, SO₂ এবং N₂ এর সাথে এটি সহজে জটিল গঠন করে। [Ru(NH₃)₅(N₂)]²⁺ জটিলটি হলো M-N₂ বন্ধনযুক্ত প্রথম প্রস্তুতকৃত জটিল।



চিত্র : ৩.২ : রুথিনিয়াম অ্যামিনসমূহের কয়েকটি বিক্রিয়া।

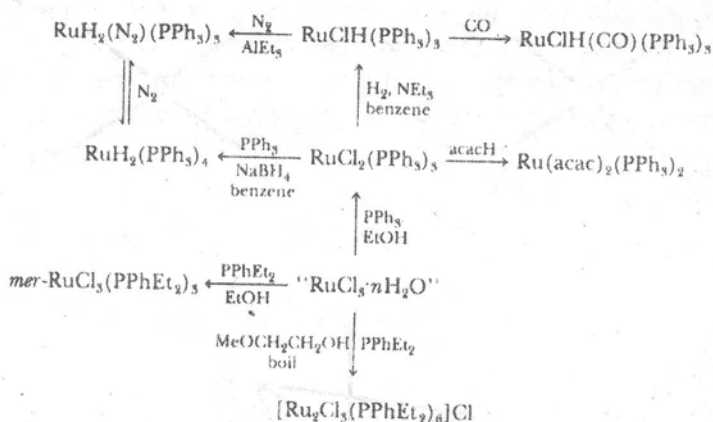
রুথিনিয়াম এবং অসমিয়াম উভয়েই M-NO বন্ধনযুক্ত অষ্টতলকীয় জটিল ML_5NO গঠন করে। L এর প্রকৃতির উপর নির্ভর করে এরূপ জটিলগুলি ক্যাটায়নিক, অ্যানায়নিক অথবা চার্জ নিরপেক্ষ হতে পারে। এ জটিলগুলির বিভিন্ন বিক্রিয়াতেও M-NO বন্ধন অক্ষত থাকতে পারে।

টারসিয়ারি ফসফিন লিগ্যান্ডগুলি π -এসিড লিগ্যান্ড হিসেবে রুথিনিয়াম এবং অসমিয়াম এর অনেকগুলি জটিল যৌগ গঠন করে। ৩.৩ চিত্রে এরূপ কিছু বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে। $\text{RuHCl}(\text{PPh}_3)_3$ এবং $\text{RuH}_2(\text{PPh}_3)_3$ জটিল দুটি অ্যালিকিনসমূহের হাইড্রোজিনেশন বিক্রিয়ায় সমসত্ত্ব প্রভাবক হিসেবে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

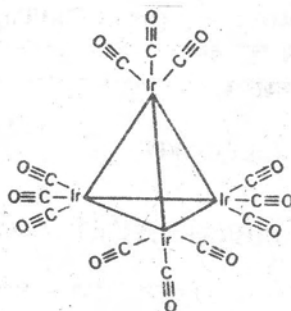
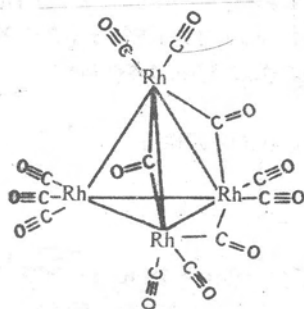
রোহডিয়াম এবং ইরিডিয়াম (Rhodium and Iridium)

Rh এবং Ir উভয়েই খুব শক্ত ধাতু। রাসায়নিকভাবে এরা খুবই নিষ্ক্রিয়। সকল মৌলের মধ্যে Ir এর ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি (22.61 g/cm^3)। Rh এবং Ir এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু উচ্চ তাপমাত্রায় O_2 এবং হ্যালাজেনের সাথে বিক্রিয়া করে। এরা প্রচুর সংখ্যক জটিল যৌগ গঠন করে।

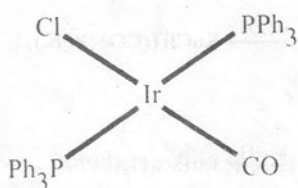
CO, PF_3 , NO, CN^- ইত্যাদি π -এসিড লিগ্যান্ডের সাথে Rh এবং Ir (-I) এবং 0 জারণ অবস্থায় কিছু জটিল গঠন করে। (-I) জারণ অবস্থার দুটি জটিলের উদাহরণ হলো $[\text{Rh}(\text{CO})_4]^-$ এবং $[\text{Ir}(\text{PF}_3)_4]^-$, এদের আকৃতি চতুস্তলকীয়। 0 জারণ অবস্থায় Rh এবং Ir এর জটিলগুলিতে M-M বন্ধন উপস্থিত থাকে। উদাহরণ : $\text{Rh}_4(\text{CO})_{12}$ (3-XXXII) এবং $\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}$ (3-XXXIII) :



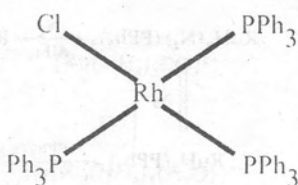
চিত্র ৩.৩ : রুথিনিয়ামের টারসিয়ারি ফসফিন জটিলের কয়েকটি বিক্রিয়া।



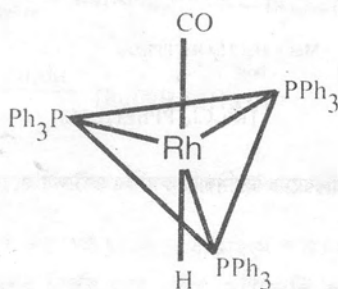
CO, PR₃ এবং অ্যালকিনগুলির সাথে π বন্ধনের মাধ্যমে Rh^I এবং Ir^I এর অনেকগুলি জটিল গঠিত হয়। এ যৌগগুলির সাধারণত একটি বর্গাকার সমতল কাঠামো অথবা একটি ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিডীয় কাঠামো থাকে। বর্গাকার সমতল কাঠামোর উদাহরণ : ভাসকার যৌগ trans-[IrCl(CO)(PPh₃)₂] (3-XXXIV) এবং উইলকিনসন্স প্রভাবক [RhCl(PPh₃)₃] (3-XXXV), ত্রিকোণী দ্বি-পিরামিডীয় কাঠামোর উদাহরণ: [RhH(CO)- (PPh₃)₃] (3-XXXVI)। অ্যালকোহলে IrCl₃ এবং PPh₃ এর দ্রবণকে HCHO দ্বারা



3 - XXXIV

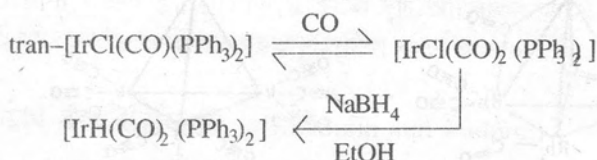


3 - XXXV



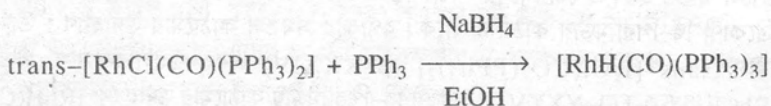
3 - XXXVI

বিজারিত করে $\text{trans-[IrCl(CO)(PPh}_3)_2]$ যৌগটি প্রস্তুত করা যায়। এখানে HCHO একই সাথে বিজারক এবং CO-এর উৎস হিসেবে কাজ করে। চার সন্নিবেশ সংখ্যার যৌগটিকে সহজেই পাঁচ সন্নিবেশ সংখ্যার একটি নতুন যৌগে পরিণত করা যায় :



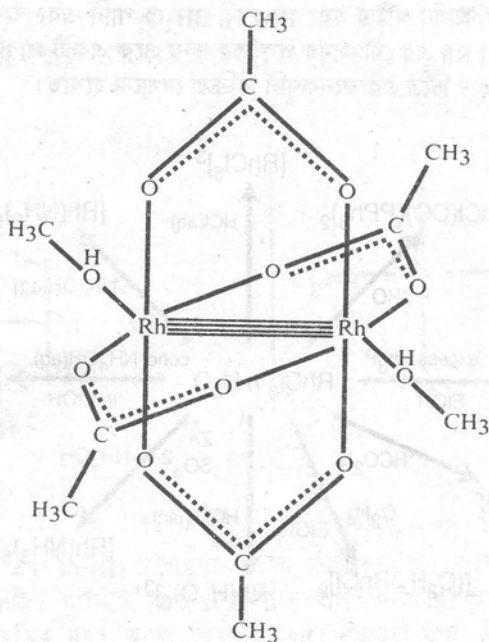
$\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ যৌগের ইথানল দ্রবণকে অধিক পরিমাণ PPh_3 এর সাথে রিফ্লাক্স করলে $[\text{RhCl(PPh}_3)_3]$ প্রস্তুত হয়। এটি একটি লাল-বেগুনি কেলাসি পদার্থ। অ্যালকিন এবং অন্য অসংপৃক্ত যৌগের হাইড্রোজিনেশন করার জন্য এটি ব্যবহৃত হয়।

$[\text{RhH(CO)(PPh}_3)_3]$ একটি হলুদ কেলাসি পদার্থ। নিচের বিক্রিয়াটি দ্বারা এটি প্রস্তুত করা যায় :



অ্যালকিন যৌগগুলির জন্য এটি একটি প্রয়োজনীয় হাইড্রোফরমাইলেশন প্রভাবক।

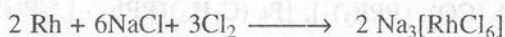
Rh^{II} এবং Ir^{II} খুব অল্প সংখ্যক যৌগ গঠন করে। $IrCl_2$ একটি পলিমারিক যৌগ। $RhCl_3 \cdot 3H_2O$ এর মিথানল দ্রবণকে সোডিয়াম অ্যাসিটেট যোগ করে গরম করলে রোহডিয়াম (II) এর একটি উল্লেখযোগ্য যৌগ $[Rh_2(OOC-CH_3)_4-(CH_3OH)_2]$ (3-XXXVII) পাওয়া যায়। যৌগটিতে দুটি Rh পরমাণুর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে।



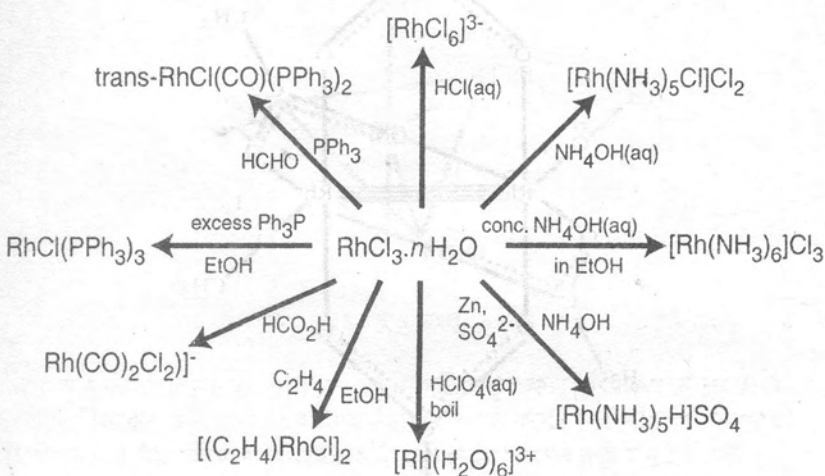
3-XXXVII

Rh এবং Ir এর সবচেয়ে সাধারণ জারণ অবস্থা হলো +3। সবগুলি ট্রাইহ্যালাইড যৌগ MX_3 জানা রয়েছে। $RhCl_3$ এর ফ্লোরিনেশন করে RhF_3 প্রস্তুত করা যায়, IrF_6 কে Ir দ্বারা বিজারিত করে IrF_3 প্রস্তুত করা যায়, অন্য হ্যালাইডগুলি সরাসরি বিক্রিয়া করে প্রস্তুত করা যায়। এরা সবাই পানিতে অদ্রবণীয়। Rh ধাতুকে বাতাসে পোড়িয়ে Rh_2O_3 পাওয়া যায়। Ir^{III} দ্রবণে নিষ্ক্রিয় আবহাওয়ায় অ্যালকালি যোগ করে $Ir_2O_3 \cdot xH_2O$ পাওয়া যায়। এটি সহজে জারিত হয়ে $Ir^{IV} O_2$ গঠন করে।

Rh^{III} এবং Ir^{III} এর অনেকগুলি জটিল জানা আছে। এরা সাধারণত অষ্টতলকীয়, সুস্থিত, নিম্নস্পিনযুক্ত এবং ডায়াম্যাগনেটিক প্রকৃতির হয়। উদাহরণ : $[RhCl_6]^{3-}$, $[Rh(H_2O)_6]^{3+}$ এবং $[Rh(NH_3)_6]^{3+}$ । সূক্ষ্ম চূর্ণ Rh অথবা Ir কে GrI A ধাতুর ক্লোরাইড এবং ক্লোরিনের সাথে উত্তপ্ত করে ক্লোরাইড জটিল প্রস্তুত করা যায়, উদাহরণ :

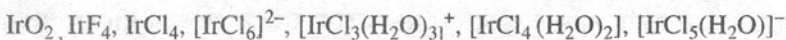


$\text{Na}_3[\text{RhCl}_6] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ জটিলটির রং লাল এবং এটি রোডিয়ামের একটি অতি পরিচিত যৌগ। পানির সাথে ফুটালে $[\text{Rh}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ আয়ন পাওয়া যায়, NaOH দ্রবণের সাথে উত্তপ্ত করলে $\text{Rh}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ গঠিত হয়। হলুদ বর্ণের আর্দ্র আয়ন HCl এর সাথে বিক্রিয়া করে ক্লোরোজটিল গঠন করে। $\text{Rh}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ কে সীমিত পরিমাণ HCl এর সাথে বিক্রিয়া করে $\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ পাওয়া যায়, কিন্তু অধিক পরিমাণ HCl এর সাথে বিক্রিয়া করলে $[\text{RhCl}_6]^{3-}$ আয়ন গঠিত হয়। $\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ পানি এবং অ্যালকোহল উভয় দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। Rh এর যৌগসমূহ প্রস্তুতের জন্য একে একটি প্রারম্ভিক বস্তু হিসেবে ব্যবহার করা হয়। ৩.৪ চিত্রে এর অনেকগুলি বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৩.৪ : $\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ এর কতিপয় বিক্রিয়া।

Rh^{IV} এর যৌগগুলি সুস্থিত নয়। Rh^{IV} এর মাত্র অল্প কয়েকটি যৌগ জানা রয়েছে, উদাহরণ : RhO_2 , RhF_4 , $\text{K}_2[\text{RhF}_6]$, $\text{K}_2[\text{RhCl}_6]$ ইত্যাদি। তুলনামূলকভাবে Ir^{IV} যৌগগুলি বেশি সুস্থিত। কয়েকটি Ir^{IV} যৌগের উদাহরণ নিচে দেয়া হলো :

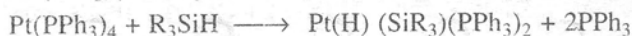
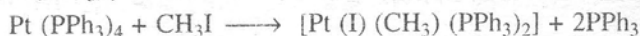
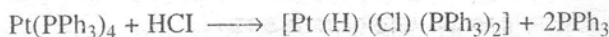


প্যালাডিয়াম এবং প্লাটিনাম (Palladium and Platinum)

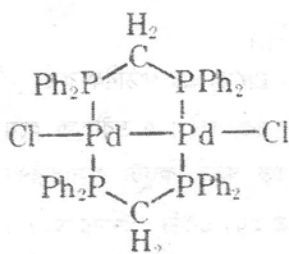
প্যালাডিয়াম এবং প্লাটিনামের প্রধান জারণ অবস্থাগুলি হলো II এবং IV, তবে I অবস্থাতে কিছু যৌগ গঠিত হয় যেগুলিতে $\text{M}-\text{M}$ বন্ধন উপস্থিত থাকে এবং π এসিড লিগ্যান্ডগুলির সাথেও কিছু যৌগ গঠিত হয় যেগুলিতে ধাতুর জারণ অবস্থা 0 হয়।

$\text{Pd}(0)$ এবং $\text{Pt}(0)$ এর কয়েকটি উদাহরণ হলো $[\text{Pd}(\text{PPh}_3)_4]$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_4]$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_3]$, $[\text{Pd}(\text{CO})_2(\text{PPh}_3)_2]$, $[\text{Pt}(\text{C}_2\text{H}_4)(\text{PPh}_3)_2]$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{O}_2)]$

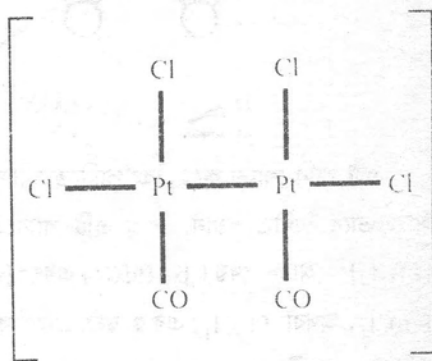
ইত্যাদি। এসব যৌগগুলি সাধারণত জারণের মাধ্যমে যুত বিক্রিয়া দেয়। নিচে $Pt(PPh_3)_4$ এর তিনটি বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে।



Pd^I এবং Pt^I সংখ্যা খুব কম। নিচে এরূপ যৌগের একটি করে উদাহরণ দেয়া হয়েছে (3-XXXVIII এবং 3-XXXIX) :

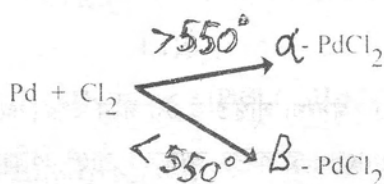


3-XXXVIII

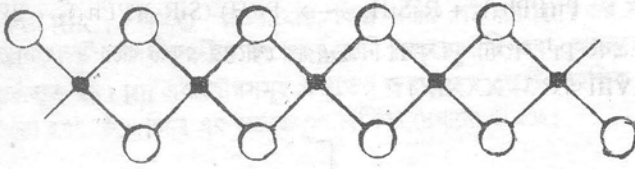


3-XXXIX

$Pd(II)$ এবং $Pt(II)$ যৌগগুলি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। +2 জারণ অবস্থায় উভয় ধাতু অক্সাইড, হ্যালাইড, নাইট্রেট, সালফেট ইত্যাদি যৌগ গঠন করে। অনার্দ্র যৌগগুলি সাধারণত আয়নিক প্রকৃতির নয়। অনার্দ্র অবস্থায় PdO পাওয়া যায়। কিন্তু PtO কে কেবল অস্থিতিশীল আর্দ্র অক্সাইড হিসেবে পাওয়া যায়। PtF_2 ছাড়া সবগুলি ডাইহ্যালাইড MX_2 পাওয়া যায়। অন্য হ্যালাইডগুলির মতো না হয়ে PdF_2 একটি আয়নিক যৌগ। মৌলগুলির সরাসরি বিক্রিয়া থেকে $PdCl_2$ এবং $PtCl_2$ প্রস্তুত করা যায়। এদের উভয়কে α এবং β দুটি রূপে পাওয়া যায়। কোন রূপটি গঠিত হবে তা প্রস্তুত পদ্ধতির অবস্থার উপর নির্ভর করে। α রূপটি বেশি সাধারণ।

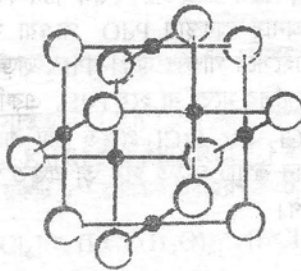


α -PdCl₂ একটি অন্ধকার লাল কঠিন পদার্থ কিন্তু α -PtCl₂ জলপাই সবুজ বর্ণের। α -PdCl₂ এর একটি সমতল শিকল পলিমার কাঠামো থাকে (3-XL) যার মধ্যে Pd পরমাণুগুলি বর্গাকার সমতল অবস্থানে অবস্থিত হয়।



3-XL

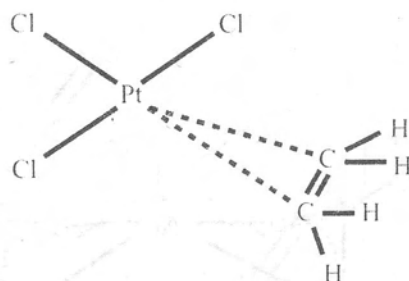
এটি পানি শোষণ করে এবং পানিতে দ্রবীভূত হয়। α -PtCl₂ এর গাঠনিক কাঠামো সঠিকভাবে নিশ্চিত হয়নি, কিন্তু এটি পানিতে অদ্রবণীয় এবং HCl এ দ্রবীভূত হয়ে [PtCl₄]²⁻ আয়ন দেয়। β -PdCl₂ এবং β -PtCl₂ এর গঠন কিছুটা অসাধারণ। Pd₆Cl₁₂ অথবা Pt₆Cl₁₂ একক দ্বারা এরূপ কাঠামো গঠিত হয়। একটি বর্গাকার সমতল পরিবেশে চারটি Cl পরমাণু দ্বারা ধাতু পরমাণু পরিবেষ্টিত হয় এবং এরূপ ছয়টি একক হ্যালোজেন সেতু দ্বারা সংযুক্ত থাকে (3-XLI)। β -PdCl₂ বেনজিনে দ্রবীভূত হয় এবং দ্রবণেও এর কাঠামো অক্ষত থাকে।



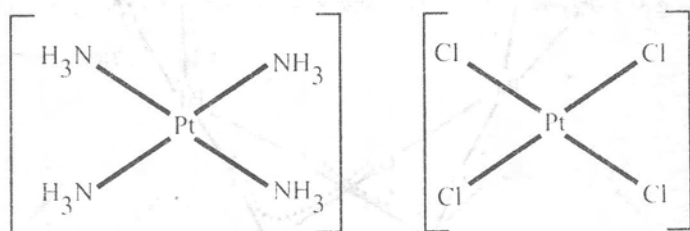
3-XLI

Pd (II) এবং Pt(II) অসংখ্য সুস্থিত জটিল গঠন করে। এদের আকৃতি সাধারণত বর্গাকার সমতল হয়। PdCl₂ ক্লোরাইড আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে লাল বাদামি

$[\text{PdCl}_4]^{2-}$ আয়ন গঠন করে এবং অতিরিক্ত অ্যামোনিয়ার সাথে বিক্রিয়া করে $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ আয়ন দেয়। ক্লোরাইড আয়নের সাথে PtCl_2 বিক্রিয়া করেও $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ আয়ন সৃষ্টি করে। $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ আয়ন থেকে দুটি অত্যন্ত আকর্ষণীয় যৌগ তৈরি করা যায়, এরা হলো জিস লবণ $\text{K}[\text{PtCl}_3(\text{C}_2\text{H}_4)]$ (3-XLII). এবং ম্যাগনাসের সবুজ লবণ $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4][\text{PtCl}_4]$ (3-XLIII)।

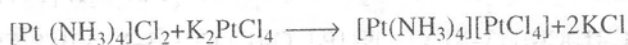
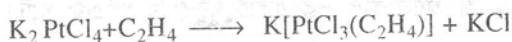


3 - XLII

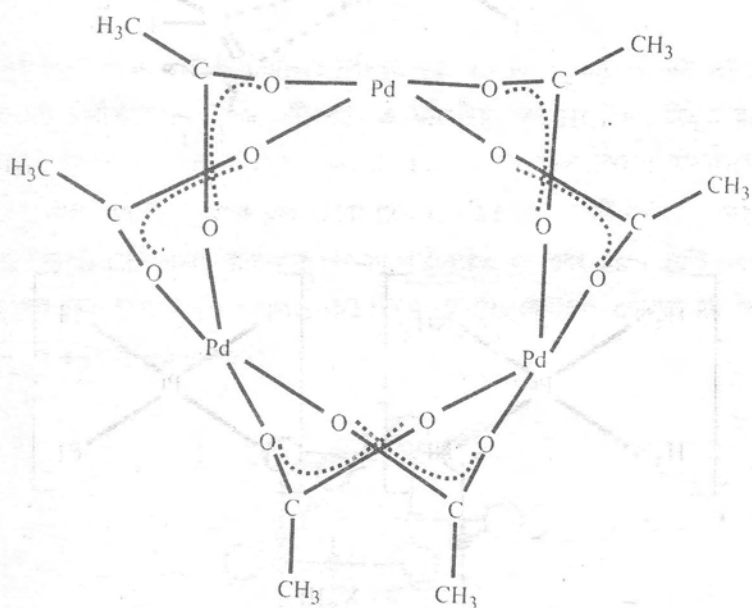


3 - XLIII

K_2PtCl_4 এর জলীয় দ্রবণে ইথিলিন চালনা করলে জিস লবণ উৎপন্ন হয়। $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ দ্রবণের সাথে K_2PtCl_4 দ্রবণ মিশ্রিত করে ম্যাগনাসের সবুজ লবণ প্রস্তুত করা যায় :

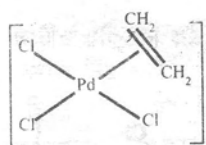


প্যালাডিয়াম (II) অ্যাসিটেট, $[\text{Pd}(\text{OOC}-\text{CH}_3)_2]_3$ (3-XLIV) আর একটি কৌতূহলজনক অণু। তিনটি Pd পরমাণু একটি ত্রিভুজ গঠন করে এবং অ্যাসিটেট আয়নগুলি Pd পরমাণুগুলির মধ্যে সেতু সৃষ্টি করে।

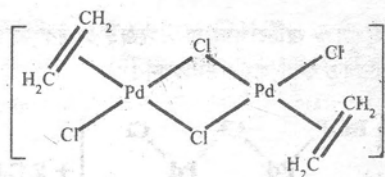


3-XLIV

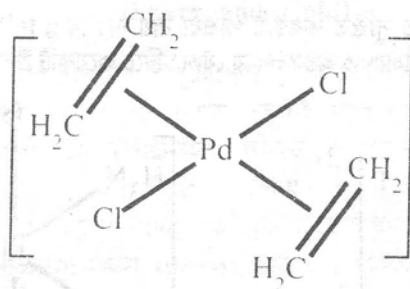
PdCl_2 এর সাথে অ্যালকিনগুলির একটি গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া ঘটে। উদাহরণস্বরূপ, ইলিথিনের সাথে বিক্রিয়া করে তিনটি যৌগ $[\text{Pd}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{Cl}_3]^-$ (3-XLV), $[\text{Pd}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{Cl}_2]_2$ (3-XLVI) এবং $[\text{Pd}(\text{C}_2\text{H}_4)_2\text{Cl}_2]$ (3-XLVII) গঠিত হয়।



3 - XLV



3 - XLVI



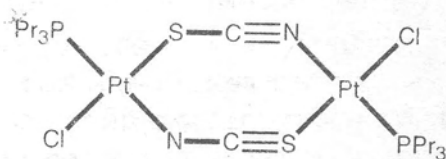
3 - XLVII

Pd^{II} এবং Pt^{II} এর অনেক জটিলে হ্যালাইড এবং অন্যান্য লিগ্যান্ডের সেতু সৃষ্টি হয়।

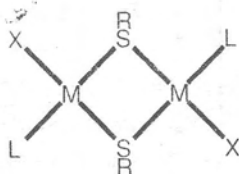
নিচে কয়েকটি উদাহরণ দেয়া হয়েছে :



3-XLVIII

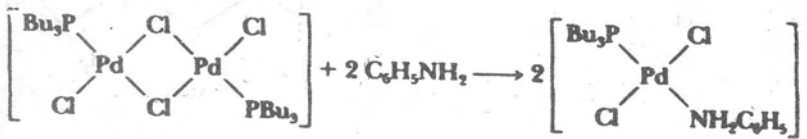


3-XLIX

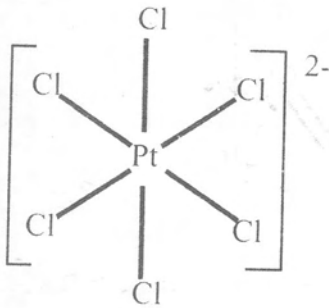


3-L

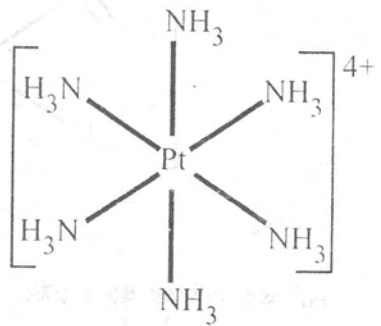
সেতুযুক্ত জটিলগুলিকে সহজেই ইলেকট্রন দাতা লিগ্যান্ড দ্বারা ভেঙ্গে এক নিউক্লীয় জটিলে পরিণত করা যায়। উদাহরণ :



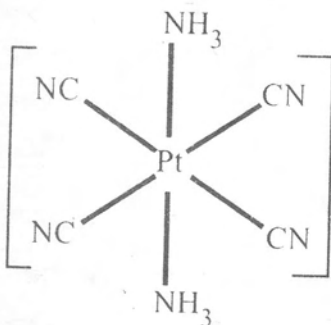
Pd^{VI} যৌগগুলি সাধারণত সুস্থিত অবস্থায় পাওয়া যায় না। কিন্তু Pt^{IV} অনেকগুলি সুস্থিত জটিল গঠন করে। এরা সাধারণত অষ্টতলকীয় যৌগ। নিচে কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হয়েছে।



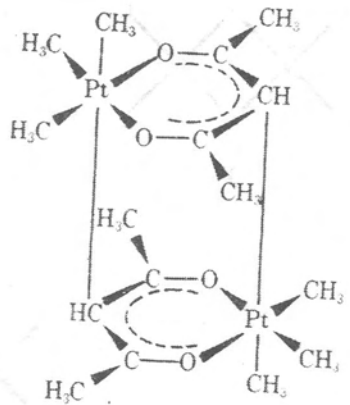
3 - LI



3 - LII



3 - LIII

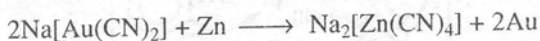
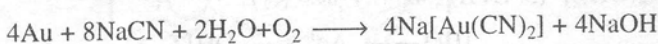


3-LIV

ট্রাইমিথাইলপ্লাটিনাম অ্যাসিটাইলঅ্যাসিটোনেট, $[(CH_3)_3Pt(O_2C_5H_7)]_2$ (3-LIV), জটিলটির গাঠনিক কাঠামো অত্যন্ত আকর্ষণীয়। এ যৌগে অ্যাসিটাইলঅ্যাসিটোনেট লিগ্যান্ডটি একটি ত্রিদেশী গ্রুপ হিসেবে কাজ করে, তৃতীয় দাতা পরমাণুটি হলো প্রতিটি বলয়ের তৃতীয় কার্বন পরমাণু।

সিলভার এবং গোল্ড (Silver and Gold)

প্রকৃতিতে সিলভার এবং গোল্ডকে ধাতু হিসেবে পাওয়া যায় আবার Fe, Cu, Ni ইত্যাদির সালফাইড আকরিককেও পাওয়া যায়। এরা উভয়েই বিরল ধাতু। ধাতু দুটি নিষ্কাশনের কয়েকটি পদ্ধতির মধ্যে বর্তমানে সায়ানাইড পদ্ধতিটি বেশি অনুসরণ করা হয়। আকরিককে চূর্ণ করে তার সাথে NaCN এর লঘু দ্রবণ মিশিয়ে বাতাস চালনা করা হয়। ফলে একটি সায়ানাইড জটিল গঠিত হয় যা পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। পরিষ্কার দ্রবণের সাথে জিংক চূর্ণ মিশিয়ে নাড়াচাড়া করলে Ag বা Au অধঃক্ষেপ হিসেবে জমা হয়।



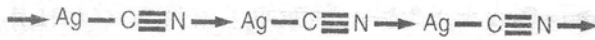
সিলভার এবং গোল্ডকে সাধারণত বিদ্যুৎ বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ করা হয়।

সিলভার একটি সাদা, চকচকে, নরম, ঘাতসহ এবং নমনীয় ধাতু। এর বিদ্যুৎ এবং তাপ পরিবাহিতা সকল ধাতুর মধ্যে সবচেয়ে বেশি। জারণকারী এসিডে ধাতুটি দ্রবীভূত হয়, অক্সিজেন অথবা পারঅক্সাইডের উপস্থিতিতে সায়ানাইড দ্রবণেও এটি দ্রবীভূত হয়।

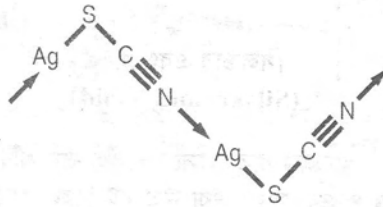
গোল্ড একটি নরম, হলুদ ধাতু। সকল মৌলের মধ্যে এর ঘাতসহনীয়তা এবং নমনীয়তা সবচেয়ে বেশি। রাসায়নিকভাবে এটি নিষ্ক্রিয়। অক্সিজেন বা সালফার দ্বারা এটি আক্রান্ত হয় না, কিন্তু সহজে হ্যালোজেনের সাথে বিক্রিয়া করে এবং ক্লোরিন উৎপাদনকারী দ্রবণ অ্যাকোয়া রিজিয়াতে দ্রবীভূত হয়। আবার বাতাস বা হাইড্রোজেন পারঅক্সাইডের উপস্থিতিতে সায়ানাইড দ্রবণেও দ্রবীভূত হয়।

সিলভারের যৌগসমূহ

সিলভারের প্রধান জারণ সংখ্যা +1। পানিতে Ag^+ আয়ন সম্ভবত $[Ag(H_2O)_2]^+$ অবস্থায় থাকে, কিন্তু Ag^+ আয়নের কোনো আর্দ্র লবণ পাওয়া যায় না। $AgNO_3$, $AgClO_3$ এবং $AgClO_4$ পানিতে দ্রবণীয় কিন্তু Ag_2SO_4 এবং $Ag(OOC-CH_3)$ এর দ্রাব্যতা অতি সামান্য। অক্সোঅ্যানায়নগুলির লবণ সাধারণত আয়নিক প্রকৃতির, কিন্তু পানিতে অদ্রবণীয় $AgCl$ এবং $AgBr$ এর গাঠনিক কাঠামো NaCl এর গাঠনিক কাঠামোর অনুরূপ হলেও সম্ভবত এ দুটি সমযোজী যৌগ। $AgCN$ (3-LV) এবং $AgSCN$ (3-LVI) এর শিকল কাঠামো রয়েছে এবং এরা নিঃসন্দেহে সমযোজী যৌগ।

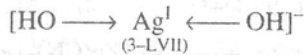


3-LV



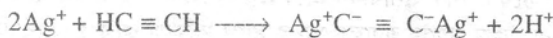
3-LVI

Ag^+ দ্রবণে অ্যালকালি দ্রবণ যোগ করলে সিলভার (I) অক্সাইড, Ag_2O , এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়। পানির তুলনায় তীব্র অ্যালকালি দ্রবণে এর দ্রাব্যতা বেশি, এরূপ দ্রবণে $[\text{Ag}(\text{OH})_2]^-$ (3-LVII) অ্যানায়ন গঠিত হয়।



HF এর জলীয় দ্রবণের সাথে Ag_2O বিক্রিয়া করে সিলভার ফ্লোরাইড গঠন করে, কেলাসিত করে আর্দ্র কেলাস AgF , $4\text{H}_2\text{O}$ পাওয়া যায়। Ag^+ আয়নের জলীয় দ্রবণে X^- আয়ন ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) যোগ করলে AgX এর অধঃক্ষেপ পাওয়া যায়, এখানে লবণের সাথে কোনো কেলাস পানি থাকে না। লবণগুলির রং এবং অদ্রবণীয়তা $\text{Cl} < \text{Br} < \text{I}$ অনুক্রমে বৃদ্ধি পায়।

অ্যাসিটিলিনের সাথে Ag^+ একটি হলুদ যৌগ গঠন করে :



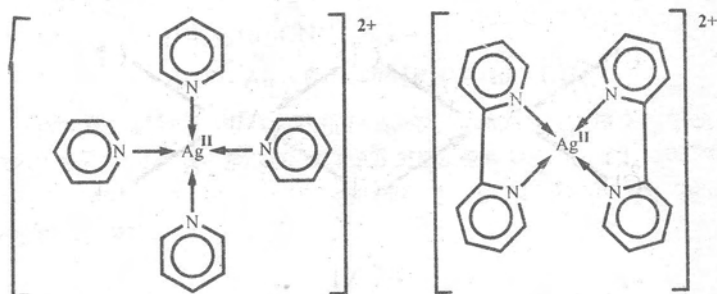
Ag^I অনেকগুলি জটিল সৃষ্টি করে। অধিকাংশ জটিলের সম্মিলিত সংখ্যা দুই এবং এদের সরলরৈখিক কাঠামো থাকে। উদাহরণ : $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ এবং $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ।

+2 এবং +3 জারণ অবস্থাতেও সিলভারের কতিপয় যৌগ রয়েছে। সিলভার (II) ফ্লোরাইড, $\text{Ag}^{\text{II}}\text{F}_2$, একটি বাদামি যৌগ যা F_2 এর মধ্যে Ag উত্তপ্ত করে প্রস্তুত করা যায়



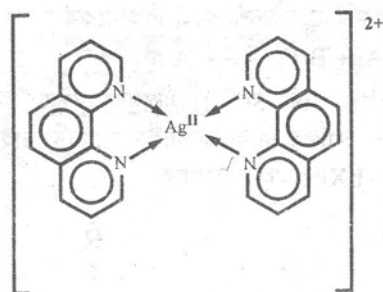
এটি ফ্লোরিনেশন ঘটানোর একটি প্রয়োজনীয় বিকারক।

অনেকগুলি জটিল যৌগে Ag^{II} অধিক সুস্থিত। উদাহরণ : $[\text{Ag}(\text{pyridine})_4]^{2+}$ (3-LVIII), $[\text{Ag}(\text{dipyridyl})_2]^{2+}$ (3-LIX) এবং $[\text{Ag}(\text{o-phenanthroline})_2]^{2+}$ (3-LX)।



3-LVIII

3-LIX



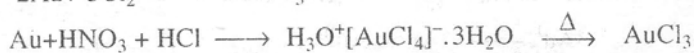
3-LX

সাধারণত লিগ্যান্ডের উপস্থিতিতে Ag^+ আয়নকে পটাশিয়াম পারসালফেট দ্বারা জারিত করে জটিলগুলি প্রস্তুত করা যায়। এরা সমতল বর্গাকৃতির যৌগ এবং এদের প্রকৃতি প্যারাম্যাগনেটিক হয়।

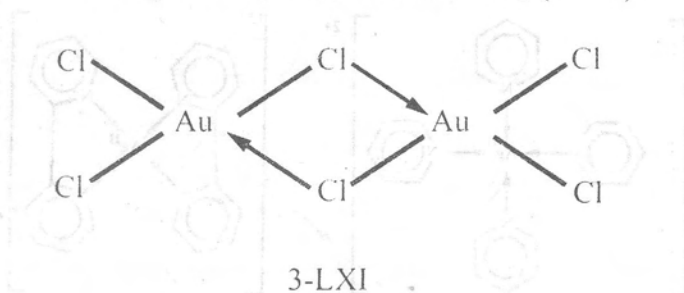
সিলভারের +3 জারণ অবস্থা খুবই বিরল। তাপ বিগলিত অ্যালকালি মেটাল হ্যালাইড এবং সিলভার হ্যালাইডের মিশ্রণকে ফ্লোরিনেশন করে একটি Ag^{III} যৌগ $M^+[Ag^{III}F_4]^-$ প্রস্তুত করা যায়।

গোল্ডের যৌগসমূহ

গোল্ডের প্রধান জারণ অবস্থা তিন। AuX_3 সংকেত বিশিষ্ট সবগুলি হ্যালাইড যৌগ পাওয়া যায়। Cl_2 এর মধ্যে গোল্ডকে উত্তপ্ত করে অথবা অ্যাকোয়া রিজিয়াতে গোল্ড দ্রবীভূত করার পর বাষ্পীভবন করে $AuCl_3$ প্রস্তুত করা যায়।



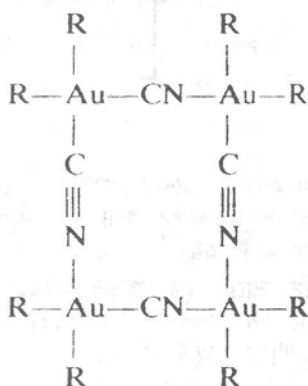
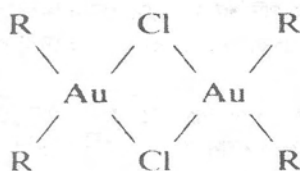
এটি একটি লাল, ডাইমার যৌগ যার গঠন নিচে দেখানো হয়েছে (3-LXI) :



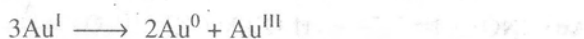
হাইড্রোক্লোরিক এসিড দ্রবণে এটি একটি সমতল $[AuCl_4]^-$ আয়ন গঠন করে।

Au এবং Br_2 এর বিক্রিয়া থেকে $AuBr_3$ প্রস্তুত করা যায় এবং $AuBr_3$ থেকে AuI_3 প্রস্তুত করা যায়। একটি ফ্লোরিনেশনকারী বিকারকের সাথে Au এর বিক্রিয়া করে AuF_3 প্রস্তুত করা যায় : $Au + BrF_3 \longrightarrow AuF_3$

R_2AuX ($X = Cl^-, Br^-, CN^-, SO_3^{2-}$) যৌগগুলি সুস্থিত জৈবধাতব যৌগ যার মধ্যে অত্যন্ত সবল Au-C বন্ধন উপস্থিত থাকে। হ্যালাইড যৌগগুলি ডাইমার (3-LXII) কিন্তু সায়ানাইডগুলি টেট্রামার (3-LXIII) - অবস্থায় থাকে।

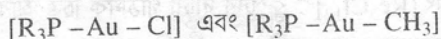
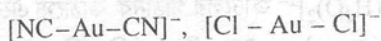


গোল্ডের জন্য +I জারণ অবস্থা খুব কম সুস্থিত। AuX_3 ($X = Cl, Br$) যৌগকে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করে $AuCl$ এবং $AuBr$ প্রস্তুত করা যায়। জলীয় দ্রবণে এরা অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া করে Au ধাতু এবং Au (III) আয়নে পরিণত হয় :



কিছু সংখ্যক সরলরৈখিক জটিলেও Au^I পাওয়া যায়।

উদাহরণ :



সায়ানাইড জটিলটি পানিতে দ্রবণীয়। বাতাস অথবা H_2O_2 এর উপস্থিতিতে CN^- আয়নের জলীয় দ্রবণে Au দ্রবীভূত করে এটি প্রস্তুত করা যায়। Au_2Cl_6 এর ইথার দ্রবণে R_3P যোগ করে R_3PAuCl প্রস্তুত করা যায়। I^- , SCN^- ইত্যাদি গ্রুপ দ্বারা ফ্লোরিন অপসারণ করা যায়।

প্রশ্নমালা

১। নিচে উল্লিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে প্রথম সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির সাথে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় সিরিজের অবস্থান্তর মৌলগুলির তুলনা কর :

(ক) পারমাণবিক ও আয়নিক ব্যাসার্ধ

(খ) ধাতু-ধাতু বন্ধন সৃষ্টি

(গ) জারণ অবস্থা

(ঘ) চৌম্বক ধর্ম

(ঙ) সন্নিবেশ সংখ্যা

২। হাফনিয়াম এবং জার্কোনিয়াম যৌগগুলির ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্ম অত্যন্ত অনুরূপ হয় কেন ?

৩। ZrCl_4 , POCl_3 এবং $[\text{Zr}_4(\text{OH})_8(\text{H}_2\text{O})_{16}]^{8+}$ এর গাঠনিক কাঠামো আঁক।

৪। $\text{Zr}(\text{OOC-CH}_3)_4$, $\text{Zr}(\text{acac})_4$, $\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$ এবং $\text{Zr}(\text{C}_2\text{O}_4)_4^{4-}$ এর গাঠনিক কাঠামো আঁক।

৫। জার্কোনিয়ামের একটি সাইক্লোপেন্টাডাইইনাইল যৌগের উদাহরণ দাও।

৬। কঠিন অবস্থায় NbF_5 এর কাঠামো ঐকে দেখাও।

৭। $[\text{Ta}_2\text{Cl}_8(\text{PPh}_3)_4]$ যৌগটির গাঠনিক কাঠামো আঁক।

৮। $\text{Ta} = \text{Ta}$ দ্বি-বন্ধনযুক্ত একটি দ্বি-নিউক্লীয় জটিলের উদাহরণ দাও।

৯। $[\text{Nb}_2\text{Cl}_6(\text{SEt}_2)_3]$ যৌগটির গাঠনিক কাঠামো আঁক।

১০। $\text{Mo}_2(\text{OOC-CH}_3)_4$ এবং Mo_2Cl_8 যৌগগুলির গাঠনিক কাঠামো আঁক।

১১। দুটি ধাতব পরমাণুর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে এমন একটি মলিবডিনাম যৌগের উদাহরণ দাও।

১২। দুটি টাংস্টেন পরমাণুর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে এরূপ একটি যৌগের উদাহরণ দাও।

- ১৩। ধাতু-ধাতু ত্রি-বন্ধনযুক্ত একটি টাংস্টেন যৌগের গাঠনিক কাঠামো আঁক।
- ১৪। $[\text{Mo}_2\text{O}_4(\text{C}_2\text{O}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2-}$ জটিলের গাঠনিক কাঠামো ঐকে দেখাও।
- ১৫। Re_3Cl_9 এবং $[\text{Re}_3\text{Cl}_{12}]^{3-}$ ক্লস্টার দুটির গাঠনিক চিত্র আঁক।
- ১৬। দুটি Re পরমাণুর মধ্যে চারটি বন্ধন উপস্থিত থাকে এরূপ একটি জটিলের চিত্র আঁক।
- ১৭। $[\text{ReOCl}_2\text{py}_2]_2\text{O}$ যৌগটির আণবিক কাঠামো ঐকে দেখাও।
- ১৮। $[\text{Re}_2\text{Cl}_8]^{2-}$ এবং $[\text{Re}_2(\text{CH}_3\text{COO})_4\text{Cl}_2]$ জটিল দুটির আণবিক চিত্র ঐকে দেখাও।
- ১৯। $[\text{RuF}_5]_4$ টেট্রামারটির গাঠনিক চিত্র আঁক।
- ২০। $\text{Rh}_4(\text{CO})_{12}$ এবং $\text{Ir}_4(\text{CO})_{12}$ যৌগ দুটির আণবিক কাঠামো আঁক।
- ২১। নিচের যৌগগুলির গাঠনিক কাঠামো আঁক :
- ট্রান্স- $[\text{IrCl}(\text{CO})(\text{PPh}_3)_2]$, $[\text{Pd}_2\text{Cl}_2(\text{Ph}_2\text{PCH}_2\text{PPh}_2)_2]$, $[\text{Pd}(\text{OOC}-\text{CH}_3)_2]_3$
এবং $[(\text{CH}_3)_3\text{Pt}(\text{O}_2\text{C}_5\text{H}_7)]_2$
- ২২। $[\text{Ag}(\text{dipyridyl})_2]^{2+}$ এবং $[(\text{CH}_3)_2\text{AuCl}]_4$ যৌগ দুটির গাঠনিক কাঠামো ঐকে দেখাও।
- ২৩। প্লাটিনাম ধাতু কোনগুলিকে বলা হয়? π গ্রহীতা লিগ্যান্ডের সাথে এদের একটি করে জটিলের উদাহরণ দাও।
- ২৪। $\text{RhCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? কি ঘটে যখন এটি (ক) ফটো HCl এর সাথে বিক্রিয়া করে, (খ) ইথানলে অধিক পরমাণ PPh₃ এর সাথে বিক্রিয়া করে, (গ) ইথানলে C₂H₄ এর সাথে বিক্রিয়া করে, (ঘ) ইথানলে ঘন NH₄OH এর সাথে বিক্রিয়া করে, (ঙ) NH₄OH এর জলীয় দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে?
- ২৫। জিস লবণ এবং ম্যাগনাসের লবণের গাঠনিক কাঠামো ঐকে দেখাও।

চতুর্থ অধ্যায়

প্রথম অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ : ল্যান্থানাইড মৌলসমূহ

(The First Inner Transition Series : The Lanthanide Elements)

সূচনা (Introduction)

তৃতীয় অবস্থান্তর সিরিজের প্রথম মৌল ল্যান্থানাম ($Z = 57$) এর পরবর্তী মৌল সেরিয়াম ($Z = 58$) থেকে লিউটিসিয়াম ($Z = 71$) পর্যন্ত চৌদ্দটি মৌল প্রথম অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ গঠন করে। মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য হলো এদের পরমাণুতে সর্বশেষ ইলেকট্রন স্তর থেকে দুই স্তর ভেতরে অবস্থিত $4f$ উপস্তরে ক্রমশ একটি করে ইলেকট্রন প্রবেশ করে এবং এভাবে পরমাণুগুলিতে $4f^1$ — $4f^{14}$ ইলেকট্রন পাওয়া যায়। ধর্মের দিক দিয়ে এ চৌদ্দটি মৌল প্রায় অভিন্ন। ১৯০৭ খ্রিস্টাব্দ পর্যন্ত এদের সবগুলিকে একটি মাত্র মৌল মনে করা হতো। অতীতে এদেরকে বিরল মৃত্তিকা মৌল বলা হতো। বর্তমানে বিরল মৃত্তিকা মৌল নামটি সঠিক বলে বিবেচনা করা হয় না, কারণ এদের অনেকগুলি মৌল বাস্তবে বিরল নয়। যেমন সেরিয়াম মৌলটির প্রাচুর্য কপারের প্রাচুর্যের প্রায় সমান এবং প্রোমিথিয়াম ($Z = 61$) বাদে অন্য সবগুলি মৌল আয়োডিনের চেয়ে বেশি পরিমাণে পাওয়া যায়। সবগুলি মৌলের রাসায়নিক ধর্ম ল্যান্থানামের রাসায়নিক ধর্মের সাথে প্রায় মিলে যায়। এজন্য ল্যান্থানাম এবং এর পরবর্তী চৌদ্দটি মৌলকে (^{57}La থেকে ^{71}Lu পর্যন্ত) এক সাথে ল্যান্থানাইড বা ল্যান্থানন বলা হয়। দুটি নামের মধ্যে ল্যান্থানাইড নামটি অধিক পরিচিত। সাধারণভাবে ল্যান্থানাইড মৌলগুলিকে Ln সংকেত দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ইলেকট্রন বিন্যাস (Electronic structure)

ল্যান্থানাইড মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস ৪.১ সারণিতে দেখানো হয়েছে।

সারণি ৪.১ : ইলেকট্রন বিন্যাস এবং জারণ অবস্থা

মৌল	প্রতীক	পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস	M^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস	জারণ অবস্থা
ল্যান্থানাম	La	$[\text{Xe}] 5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}]$	III
সেরিয়াম	Ce	$[\text{Xe}] 4f^1 5d^1 6s^2$	$[\text{Xe}] 4f^1$	III, (IV)
প্রোসেডিমিয়াম	Pr	$[\text{Xe}] 4f^3 6s^2$	$[\text{Xe}] 4f^2$	III, (IV)

নিয়োডিমিয়াম	Nd	[Xe] 4f ⁴ 6s ²	[Xe] 4f ³	(II), III
প্রোমিথিয়াম	Pm	[Xe] 4f ⁵ 6s ²	[Xe] 4f ⁴	(II), III
সামারিয়াম	Sm	[Xe] 4f ⁶ 6s ²	[Xe] 4f ⁵	(II), III
ইউরোপিয়াম	Eu	[Xe] 4f ⁷ 6s ²	[Xe] 4f ⁶	(II), III
গ্যাডোলিনিয়াম	Gd	[Xe] 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	[Xe] 4f ⁷	III
টারবিয়াম	Tb	[Xe] 4f ⁹ 6s ²	[Xe] 4f ⁸	III, (IV)
ডিসপ্রোসিয়াম	Dy	[Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	[Xe] 4f ⁹	III, (IV)
হোলমিয়াম	Ho	[Xe] 4f ¹¹ 6s ²	[Xe] 4f ¹⁰	III
আরবিয়াম	Er	[Xe] 4f ¹² 6s ²	[Xe] 4f ¹¹	III
থুলিয়াম	Tm	[Xe] 4f ¹³ 6s ²	[Xe] 4f ¹²	(II), III
ইট্রারবিয়াম	Yb	[Xe] 4f ¹⁴ 6s ²	[Xe] 4f ¹³	(II), III
লিউটিসিয়াম	Lu	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	[Xe] 4f ¹⁴	III

* বন্ধনীর মধ্যে দেখানো জারণ অবস্থাগুলি কম সুস্থিত।

ল্যাঙ্ঘানামের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো [Xe] 5d¹ 6s²। মনে করা যেতে পারে যে, সেরিয়াম থেকে লিউটিসিয়াম পর্যন্ত চৌদ্দটি মৌলের ক্ষেত্রে 4f উপস্তরে ক্রমশ 1, 2, 3,, 14টি ইলেকট্রন যুক্ত হয়ে মৌলগুলি গঠিত হয়। কিন্তু Ce, Gd এবং Lu বাদে অন্য মৌলগুলির ক্ষেত্রে 5d উপস্তরের একমাত্র ইলেকট্রনটিকে 4f উপস্তরে সরিয়ে দেওয়া শক্তি বিবেচনায় অধিক সম্ভব। Gd এর ক্ষেত্রে 5d¹ বিন্যাস থাকার যুক্তি হলো এতে করে একটি অর্ধপূর্ণ 4f উপস্তর গঠিত হয় যার ফলে অধিক সুস্থিতি পাওয়া যায়। Lu এর ক্ষেত্রে 4f উপস্তরটি পুরাপুরি পূর্ণ হয়ে যায় বলে 5d¹ বিন্যাস থাকে। ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলির বৈশিষ্ট্য হলো এদের সবগুলির জন্য +3 জারণ অবস্থাটি সবচেয়ে বেশি সুস্থিত। সবগুলি মৌল ত্রিযোজী আয়নিক যৌগ গঠন করে। আয়নগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস হলো Ce³⁺ 4f¹, Pr³⁺ 4f², Nd³⁺ 4f³,, Lu³⁺ 4f¹⁴।

4f ইলেকট্রনগুলি পরমাণুর বাইরের দিকের 5s এবং 5p ইলেকট্রনগুলি দ্বারা রাসায়নিক পরিবেশ থেকে সুদক্ষভাবে আচ্ছাদিত থাকে। এ কারণে 4f ইলেকট্রনগুলি বন্ধন গঠনে কোনো অংশ নেয় না। আয়ন গঠন কালে এরা মুক্ত হয় না এবং জটিল যৌগে ক্রিস্টাল ফিল্ড সুস্থিতকরণেও বিশেষ কোনো ভূমিকা রাখে না। d ব্লক মৌলগুলির জন্য ক্রিস্টাল ফিল্ড সুস্থিতকরণ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। কিন্তু f ব্লক মৌলগুলির জন্য ক্রিস্টাল ফিল্ড সুস্থিতকরণ গুরুত্বপূর্ণ নয়, কারণ f অরবিটালগুলির অষ্টতলকীয় বিভাজন শক্তির মান আনুমানিকভাবে মাত্র 1 kJ mol⁻¹। f অরবিটালগুলি পূর্ণ হোক অথবা ফাঁকা থাকুক তাতে সাধারণ

রাসায়নিক ধর্মে কোনো পার্থক্য দেখা যায় না। তবে বর্ণালিমিতিক এবং চৌম্বক ধর্ম। অরবিটালে ইলেকট্রনের উপস্থিতি দ্বারা প্রভাবিত হয়।

জারণ অবস্থা (Oxidation states)

প্রতিটি মৌলের জন্য প্রথম, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় আয়নীকরণ শক্তির যোগফল ৪.২ সারণিতে দেখানো হয়েছে। এ মানগুলি তুলনামূলকভাবে কম। এজন্য +3 জারণ অবস্থায় মৌলগুলি প্রধানত আয়নিক যৌগ গঠন করে। Ln^{2+} এবং Ln^{4+} আয়নগুলি Ln^{3+} আয়নগুলির তুলনায় কম সুস্থিত। অন্য মৌলগুলির মত উচ্চ জারণ অবস্থা ফ্লোরাইড এবং অক্সাইড যৌগে পাওয়া যায় এবং নিম্ন জারণ অবস্থা অন্য হ্যালাইড বিশেষ করে ব্রোমাইড এবং আয়োডাইডগুলিতে পাওয়া যায়। +2 এবং +4 জারণ অবস্থাগুলি নিচে দেখানো ক্ষেত্রগুলিতে ঘটে :

সারণি ৪.২ : আয়নীকরণ শক্তি, বিজারণ বিভব এবং ব্যাসার্ধ।

মৌল		প্রথম তিনটি আয়নীকরণ শক্তির যোগফল (kJ mol^{-1})	E° Ln^{3+}/Ln (Volts)	Ln^{3+} এর ব্যাসার্ধ (\AA)
ল্যান্থানাম	La	3493	-2.52	1.032
সেরিয়াম	Ce	3512	-2.48	1.020
প্রাসোডিমিয়াম	Pr	3623	-2.46	0.99
নিয়োডিমিয়াম	Nd	3704	-2.43	0.983
প্রোমিথিয়াম	Pm	—	-2.42	0.97
সামারিয়াম	Sm	3898	-2.41	0.958
ইউরোপিয়াম	Eu	4033	-2.41	0.947
গ্যাডোলিনিয়াম	Gd	3744	-2.40	0.938
টারবিয়াম	Tb	3792	-2.39	0.923
ডিসপ্রোসিয়াম	Dy	3898	-2.35	0.912
হোলমিয়াম	Ho	3937	-2.32	0.901
আরবিয়াম	Er	3908	-2.30	0.890
থুলিয়াম	Tm	4038	-2.28	0.880
ইট্রাবিয়াম	Yb	4197	-2.27	0.868
লিউটিসিয়াম	Lu	3898	-2.26	0.861

(১) যে আয়নের ক্ষেত্রে একটি মহান গ্যাসের ইলেকট্রন বিন্যাস পাওয়া যায়, উদাহরণ $Ce^{4+} (f^0)$;

(২) যে আয়নের ক্ষেত্রে একটি অর্ধপূর্ণ f উপস্তর পাওয়া যায়, উদাহরণ Eu^{2+} এবং $Tb^{4+} (f^7)$;

(৩) যে আয়নের ক্ষেত্রে একটি পরিপূর্ণ f উপস্তর পাওয়া যায়, উদাহরণ $Yb^{2+} (f^{14})$ ।

যেসব মৌলে +2 এবং +4 জারণ অবস্থায় মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস উপরে উল্লিখিত অবস্থায় প্রায় কাছাকাছি হয় তাদের ক্ষেত্রেও এরূপ জারণ অবস্থা পাওয়া যায়। যেমন Sm^{2+} ও Tm^{2+} এর ক্ষেত্রে f^6 ও f^{13} বিন্যাস এবং Pr^{4+} ও Nd^{4+} এর ক্ষেত্রে f^1 ও f^2 বিন্যাস পাওয়া যায়। +3 জারণ অবস্থাটি সব মৌলের জন্যই সাধারণ এবং বেশি সুস্থিত। জলীয় দ্রবণে +4 এবং +2 জারণ অবস্থা কেবল Ce^{4+} , Sm^{2+} , Eu^{2+} এবং Yb^{2+} এর ক্ষেত্রেই পাওয়া যায়।

অবস্থান্তর মৌলগুলির একটি সিরিজে অবস্থিত মৌলগুলির মধ্যে যতটা মিল দেখা যায় ল্যান্থানাইড মৌলগুলির মধ্যে তার চেয়ে বেশি মিল পাওয়া যায়। এর কারণ হলো ল্যান্থানাইড মৌলগুলির একমাত্র সুস্থিত জারণ অবস্থা কার্যত 3। অতএব এ সিরিজে মৌলগুলির আকারের ক্ষুদ্র পরিবর্তন এবং নিউক্লীয় চার্জের পরিবর্তন দ্বারা এদের রসায়নের পরিবর্তন তুলনা করা যায়।

ল্যান্থানাইড মৌলগুলির উৎস, নিষ্কাশন এবং ব্যবহার

(Sources, extraction and uses of the lanthanides)

ল্যান্থানাইড মৌলসমূহের প্রধান উৎস হলো মোনাজাইট নামক বালু। নিষ্কাশিত প্রায় ৭৮% ল্যান্থানাইড এ থেকে পাওয়া যায়। ১৯৬০ খ্রিস্টাব্দের পূর্বে মোনাজাইট ছিল ল্যান্থানামসমূহের একমাত্র উৎস। এটি বিভিন্ন ল্যান্থানাইড ফসফেট যৌগগুলির একটি মিশ্রণ। ব্যাস্টনেসাইট, $Ln^{III} CO_3 F$, নামক ফ্লোরোকার্বনেট আকরিক থেকেও বিভিন্ন ল্যান্থানাইডগুলি পাওয়া যায়।

উত্তপ্ত, গাঢ় H_2SO_4 এর সাথে মোনাজাইট মিশ্রিত করলে সালফেট লবণ হিসেবে থোরিয়াম এবং ল্যান্থানাইডসমূহ দ্রবীভূত হয় এবং অদ্রবণীয় বস্তুগুলি থেকে এদেরকে পৃথক করা হয়। দ্রবণটিকে NH_4OH দ্বারা আংশিক প্রশমন করলে ThO_2 হিসেবে Th অধঃক্ষিপ্ত হয়। একে পৃথক করে পরিষ্কার দ্রবণে Na_2SO_4 যোগ করলে হালকা ল্যান্থানাইডসমূহ সালফেট হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত হয় কিন্তু ভারি ল্যান্থানাইডসমূহ সালফেট হিসেবে দ্রবীভূত থাকে। হালকা ল্যান্থানাইডগুলিকে ব্লিচিং পাউডার $Ca(OCl)_2$ দ্বারা জারিত করা হয়। ফলে Ce^{3+} জারিত হয়ে Ce^{4+} গঠন করে। একে $Ce(IO_3)_4$ হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত করে পৃথক করা হয়। ট্রাই- n -বিউটাইল ফসফেট ব্যবহার করে দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতিতে La^{3+} পৃথক করা যায়। অবশিষ্ট ল্যান্থানাইডগুলিকে আয়ন বিনিময় পদ্ধতিতে পরস্পর থেকে পৃথক করা যায়।

ব্যাটনেসাইট আকরিকে Th থাকে না বলে এ থেকে ল্যান্থানাইডসমূহ পৃথক করা কিছুটা সহজ।

ল্যান্থানাইডগুলিকে পৃথক করার পর তাদের সাথে NaCl অথবা CaCl₂ যোগ করে গলনাংক কমিয়ে আনা হয় এবং তাপ বিগলিত অবস্থায় তড়িৎ বিশ্লেষণ করে ল্যান্থানাইড ধাতুগুলি বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

পৃথকভাবে বিশুদ্ধ ল্যান্থানাইডগুলির কোনো উল্লেখযোগ্য ব্যবহার নেই। মিশ্রিত ল্যান্থানাইডগুলিকে মিশমটেল (Mischmetal) বলা হয়। এর মধ্যে 50% Ce, 40% La, 7% Fe এবং 3% অন্যান্য ধাতু উপস্থিত থাকে। স্টীলের সাথে মিশমটেল যোগ করে স্টীলের শক্তি এবং কার্যক্ষমতা বৃদ্ধি করা হয়। ম্যাগনেসিয়াম অ্যালয়গুলির সাথেও এটি ব্যবহৃত হয়। ক্রুকস্ লেন্সে (Crooke's lens) La₂O₃ যোগ করে কাচকে আন্ট্রাভায়োলেট রশ্মি শোষণকারী কাচে পরিণত করা হয়। আয়তনিক বিশ্লেষণে একটি জারক হিসেবে Ce^{IV}(SO₄)₂ ব্যবহার করা হয়। কাচকে পলিশ করার জন্য CeO₂ ব্যবহার করা হয়। বিভিন্ন ধরনের গ্যাসমেন্টাল এবং ল্যাম্প তৈরিতে ল্যান্থানাইড যৌগসমূহ ব্যবহার করা হয়। রঙিন TV টিউবে 'ফসফর' হিসেবে বিভিন্ন ল্যান্থানাইড অক্সাইড ব্যবহার করা হয়।

ল্যান্থানাইড মৌলসমূহের পৃথককরণ (Separation of lanthanides)

ধাতব আয়নগুলির ধর্ম তাদের আকার এবং চার্জের পরিমাণ দ্বারা নির্ধারিত হয়। ল্যান্থানাইডগুলির আকার প্রায় সমান, এরা সবগুলি প্রধানত Ln³⁺ আয়ন গঠন করে। এজন্য এদের রাসায়নিক ধর্মে পার্থক্য খুবই কম। একটি ল্যান্থানাইড মৌল থেকে অন্য একটি ল্যান্থানাইড মৌলের পৃথককরণ খুবই কঠিন কাজ। মৌলগুলির ক্ষার ধর্মের মধ্যে সামান্য পার্থক্য, সুস্থিতি অথবা দ্রাব্যতার পার্থক্যের উপর নির্ভর করে পুরাতন পদ্ধতিগুলিতে এদের পৃথক করা হতো। বর্তমান পদ্ধতিগুলিতে কেবল আয়ন বিনিময় এবং যোজনী পরিবর্তন করে এদেরকে পৃথক করা হয়।

অধঃক্ষেপণ পদ্ধতি (Precipitation method)

অধঃক্ষেপণ সৃষ্টিকারী কোনো বিকারক অল্প পরিমাণে ব্যবহার করে যে পদার্থটির দ্রাব্যতা সবচেয়ে কম সেটিকে সবচেয়ে আগে অধঃক্ষিপ্ত করা যায়। ধরা যাক Ln(NO₃)₃ এর একটি মিশ্রণে ধীরে ধীরে OH⁻ আয়ন যোগ করা হলো। সবচেয়ে দুর্বল বেস Lu(OH)₃ সবচেয়ে আগে এবং সবচেয়ে প্রবল বেস La(OH)₃ সবচেয়ে শেষে অধঃক্ষিপ্ত হবে। অধঃক্ষেপের মধ্যে সিরিজের ডানদিকে অবস্থিত ল্যান্থানাইডগুলি বেশি পরিমাণে পাওয়া যাবে। অতএব দ্রবণের মধ্যে সিরিজের বামদিকে অবস্থিত ল্যান্থানাইডগুলি বেশি পরিমাণে থাকবে। ফিল্টার পদ্ধতিতে অধঃক্ষেপকে আলাদা করা যাবে। এভাবে কেবল আংশিক পৃথককরণ ঘটবে, কিন্তু অধঃক্ষেপকে HNO₃ এ দ্রবীভূত করে এ পদ্ধতি বার বার পুনরাবৃত্তি করলে ল্যান্থানাইডগুলিকে অধিক বিশুদ্ধরূপে পৃথক করা সম্ভব হবে।

তাপীয় বিক্রিয়া পদ্ধতি (Thermal reaction method)

$\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$ এর একটি মিশ্রণকে তাপ বিগলিত করলে একটি তাপমাত্রায় সবচেয়ে কম ক্ষারকীয় নাইট্রেটটি অক্সাইডে পরিণত হবে। মিশ্রণের সাথে পানি যোগ করলে নাইট্রেটসমূহ দ্রবীভূত হবে। এদেরকে অদ্রবণীয় অক্সাইডগুলি থেকে পৃথক করা যাবে। অক্সাইডগুলিকে HNO_3 এ দ্রবীভূত করে পদ্ধতিটি বার বার পুনরাবৃত্তি করলে ল্যাঙ্গানাইডগুলি পৃথক করা যাবে।

আংশিক কেলাসন পদ্ধতি (Fractional crystallization method)

এ পদ্ধতিতে ল্যাঙ্গানাইড লবণগুলি পৃথক করা সম্ভব। La থেকে Lu পর্যন্ত দ্রাব্যতা ক্রমশ কমতে থাকে। অতএব Lu এর কাছাকাছি মৌলগুলির লবণ প্রথমে কেলাসিত হবে। সহজে কেলাসিত হয় বলে নাইট্রেট, সালফেট, ব্রোমেট, পারক্লোরেট এবং অক্সালেট লবণগুলি এ কাজে ব্যবহার করা হয়। এ পদ্ধতিটি বার বার পুনরাবৃত্তি করে ভাল ফল পাওয়া যায়। ডাইইথাইল ইথারের মত অজলীয় দ্রাবক ব্যবহার করে $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ এবং $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3$ পৃথক করা যায়।

জটিল গঠন পদ্ধতি (Complex formation method)

ল্যাঙ্গানাইড আয়নের একটি মিশ্রণকে জটিল গঠনকারী বিকারক, যেমন EDTA, এর সাথে মিশ্রিত করা হয়। সবগুলি আয়ন জটিল গঠন করে। ল্যাঙ্গানাইড সিরিজের শেষ দিকের আয়নগুলি, যেমন Lu^{3+} , সবচেয়ে সবল জটিল গঠন করে কারণ তাদের আকার সবচেয়ে ছোট। ল্যাঙ্গানাইডগুলির অক্সালেট লবণ অদ্রবণীয়। তবে দ্রবণে অক্সালেট আয়ন যোগ করলে কোনো অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয় না কারণ Ln^{3+} আয়নগুলি EDTA এর সাথে জটিল গঠন করে থাকে। যদি দ্রবণে কিছু পরিমাণ এসিড যোগ করা হয় তাহলে সবচেয়ে কম সুস্থিত EDTA জটিলগুলি ভেঙে যায় কিন্তু অধিক সুস্থিত EDTA জটিলগুলি অক্ষত অবস্থায় দ্রবণে থাকে। এর ফলে সিরিজের বামদিকে অবস্থিত Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} আয়নগুলি অতি দ্রুত অক্সালেট লবণ হিসেবে অধঃক্ষিপ্ত হয়। এগুলি ফিল্টার করে পৃথক করা হয়। এতে পৃথককরণ সম্পূর্ণ হয় না, ফলে অক্সালেটগুলি পুনরায় দ্রবীভূত করে পদ্ধতিটির বার বার পুনরাবৃত্তি করা হয়।

দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি (Solvent extraction method)

হালকা Ln^{3+} আয়নগুলির তুলনায় ভারী Ln^{3+} আয়নগুলি ট্রাই-*n*-বিউটাইল ফসফেটে বেশি দ্রবণীয়। তবে পানি এবং আয়নিক দ্রাবকে তাদের দ্রাব্যতার ক্রম বিপরীতমুখী। তীব্র HNO_3 এবং ট্রাই-*n*-বিউটাইল ফসফেট দ্রবণের মধ্যে $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ এবং $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$ এর বন্টন গুণক (partition coefficient) এর অনুপাত 1: 1.06। পার্থক্য খুব কম হলেও অনেকবার পরীক্ষাটি পুনরাবৃত্তি করে ল্যাঙ্গানাইডগুলি পৃথক করা যায়।

যোজ্যতা পরিবর্তন পদ্ধতি (Valency change method)

অল্প কয়েকটি ল্যাঙ্ঘানাইডের +4 অথবা +2 জারণ অবস্থা পাওয়া যায়। Ln^{4+} এবং Ln^{2+} এর ধর্ম Ln^{3+} এর ধর্ম থেকে এত পৃথক যে এ পার্থক্যের উপর নির্ভর করে ল্যাঙ্ঘানাইডগুলিকে সহজে পৃথক করা যায়।

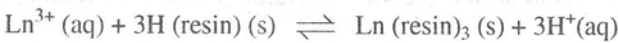
ল্যাঙ্ঘানাইড মিশ্রণ থেকে সেরিয়ামকে সহজে পৃথক করা যায় কারণ এটি হলো একমাত্র ল্যাঙ্ঘানাইড যার Ln^{4+} আয়ন জলীয় দ্রবণে সুস্থিত। Ln^{3+} আয়নের মিশ্রণের দ্রবণকে ক্ষারীয় অবস্থায় NaOCl দ্বারা জারিত করে Ce^{4+} আয়ন পাওয়া যায়। উচ্চ চার্জের কারণে Ce^{3+} এবং অন্য কোনো Ln^{3+} আয়নের তুলনায় Ce^{4+} আয়নের আকার খুব ছোট এবং এর ক্ষার ধর্ম অনেক কম। সাবধানতার সাথে নিয়ন্ত্রিত অধঃক্ষেপণ দ্বারা Ln^{3+} আয়ন দ্রবণে রেখে CeO_2 অথবা $\text{Ce}(\text{IO}_3)_4$ আয়ন পৃথক করা যায়।

অন্যভাবে HNO_3 দ্রবণে ট্রাইবিউটাইল ফসফেট ব্যবহার করে দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতিতে Ce^{4+} আয়নকে Ln^{3+} আয়নগুলি থেকে সহজে পৃথক করা যায়।

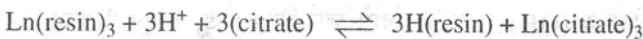
একইভাবে Ln^{3+} এর ধর্ম থেকে Eu^{2+} এর ধর্ম অনেক পৃথক। $\text{Eu}^{2+} \text{SO}_4^{2-}$ পানিতে দ্রবীভূত হয় না কিন্তু Ln^{3+} সালফেটগুলি দ্রবণীয়। Ln^{3+} আয়নের দ্রবণকে জিংক অ্যামালগাম দ্বারা বিজারিত করে Eu^{2+} আয়ন প্রস্তুত করা যায়। যদি H_2SO_4 উপস্থিত থাকে তাহলে EuSO_4 অধঃক্ষিপ্ত হবে। ফিল্টার করে এটি পৃথক করা যায়।

আয়ন বিনিময় পদ্ধতি (Ion exchange method)

ল্যাঙ্ঘানাইডগুলিকে পৃথক এবং বিশুদ্ধ করার জন্য এটি সবচেয়ে প্রয়োজনীয়, সবচেয়ে দ্রুত এবং সবচেয়ে কার্যকর পদ্ধতি। সিনথেটিক আয়ন বিনিময় রেজিনের একটি কলামের মধ্য দিয়ে ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলির দ্রবণকে ঢেলে দেয়া হয়। সিনথেটিক রেজিনটি Dowex-50 হতে পারে। এটি একটি সালফোনেটেড পলিস্টাইরিন এবং এর মধ্যে ক্রিয়াশীলমূলক $-\text{SO}_3\text{H}$ উপস্থিত থাকে। Ln^{3+} আয়নগুলি রেজিন দ্বারা শোষিত হয় এবং $-\text{SO}_3\text{H}$ মূলকের হাইড্রোজেন পরমাণু বিনিময় করে :



উৎপন্ন H^+ আয়নগুলি পানি দিয়ে কলাম থেকে ধুয়ে ফেলা হয়। তারপর কলাম থেকে ধাতু আয়নগুলি একটি সুবিধাজনক দ্রবণ ব্যবহার করে ইলুয়েট করে বের করে নেয়া হয়। ইলুয়েটিং পদার্থটি জটিল সৃষ্টিকারী রাসায়নিক বিকারক, যেমন সাইট্রিক এসিড/অ্যামোনিয়াম সাইট্রেটের একটি বাফার দ্রবণ অথবা pH 8 অবস্থায় $(\text{NH}_4)_3\text{H EDTA}$ এর লঘু দ্রবণ হতে পারে। সাইট্রেট পদ্ধতিটি বিবেচনা করা যাক; ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলির সাথে এটি একটি রাসায়নিক সাম্য প্রতিষ্ঠা করে :



কলাম বরাবর নিচের দিকে সাইট্রেট দ্রবণ চলাকালে Ln^{3+} আয়নগুলি রেজিন থেকে মুক্ত হয়ে একটি সাইট্রেট জটিল গঠন করে। কলাম বরাবর সামান্য নিচে নেমে এলে Ln^{3+} আয়নগুলি পুনরায় রেজিনে প্রবেশ করে। সাইট্রেট দ্রবণ যতই নিচের দিকে নামে ধাতু আয়ন রেজিন এবং সাইট্রেট দ্রবণের সাথে পর্যায়ক্রমে বার বার জটিল গঠন করে। ধীরে ধীরে ধাতু আয়ন কলাম বেয়ে নিচে নামে এবং শেষ পর্যন্ত সাইট্রেট জটিল হিসেবে কলাম থেকে বের হয়ে আসে। বৃহৎ La^{3+} আয়নের তুলনায় Lu^{3+} এর মত ক্ষুদ্র ল্যান্থানাইড আয়নগুলি সাইট্রেট আয়নের সাথে অধিক সুস্থিত জটিল গঠন করে। এভাবে ক্ষুদ্র এবং ভারি আয়নগুলি অধিক সময় দ্রবণে এবং অল্প সময় রেজিনে কাটায় এবং সে কারণে কলাম থেকে আগে বের হয়ে আসে। উপস্থিত বিভিন্ন ধাতু আয়নগুলি বিভিন্ন ব্যান্ডে পৃথক হয় এবং কলাম বরাবর নিচের দিকে নামতে থাকে। এদেরকে পৃথকভাবে সংগ্রহ করা হয়, ফলে বিভিন্ন ধাতু আয়নগুলি পৃথক হয়ে যায়। এদের দ্রবণকে প্রথমে অদ্রবণীয় অক্সালেট লবণে পরিণত করা হয় এবং পরে উত্তপ্ত করে অক্সাইডরূপে পাওয়া যায়। একটি দীর্ঘ কলাম ব্যবহার করে ধাতুগুলিকে 99.9% বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়।

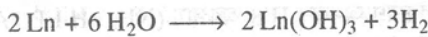
Ln^{3+} আয়নের যৌগসমূহ (Compounds of Ln^{3+} ions)

সবগুলি ল্যান্থানাইড ধাতু নরম এবং সিলভারের মত সাদা বর্ণের। এরা ইলেকট্রোপজিটিভ এবং সে কারণে অত্যন্ত সক্রিয়। ভারি ধাতুগুলির উপরিস্তরে অক্সাইডের একটি আবরণ সৃষ্টি হয় বলে হালকা ধাতুগুলির তুলনায় ভারি ধাতুগুলি কম সক্রিয় হয়। ল্যান্থানাইড মৌলগুলির রাসায়নিক ধর্ম প্রকৃতপক্ষে ত্রিযোজী আয়নিক যৌগগুলির ধর্ম।

প্রথম তিনটি আয়নিকরণ শক্তির যোগফল La^{3+} , Gd^{3+} এবং Lu^{3+} এর ক্ষেত্রে ক্ষুদ্রতম মানে পৌঁছায় কারণ এ তিনটি আয়নের ক্ষেত্রে f উপরস্তরটি যথাক্রমে ফাঁকা, অর্ধপূর্ণ এবং পূর্ণ থাকে। Eu^{3+} এবং Yb^{3+} এ যথাক্রমে অর্ধপূর্ণ এবং পূর্ণ f স্তর ভেঙ্গে যায় বলে এদের ক্ষেত্রে আয়নিকরণ শক্তির মান সর্বোচ্চ হয়।

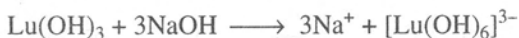
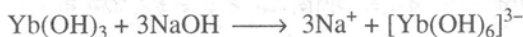
সবগুলি বিজারণ বিভবের মান উচ্চ (সারণি ৪.২)। আয়নগুলির আকারের উপর নির্ভর করে একটি ক্ষুদ্র ব্যবধানের মধ্যে (-2.48 থেকে -2.26 V) এরা নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয়।

সবগুলি ল্যান্থানাইড অ্যালুমিনিয়ামের তুলনায় অনেক বেশি সক্রিয় এবং Mg এর চেয়ে সামান্য বেশি সক্রিয়। এরা ঠাণ্ডা পানির সাথে ধীরে এবং উত্তপ্ত পানির সাথে দ্রুত বিক্রিয়া করে :



জলীয় দ্রবণে NH_4OH যোগ করলে $\text{Ln}(\text{OH})_3$ এর পিচ্ছিল অধঃক্ষেপ জমা হয়। এ হাইড্রক্সাইড আয়নিক যৌগ এবং এদের প্রকৃতি ক্ষারকীয়। এরা $\text{Ca}(\text{OH})_2$ অপেক্ষা কম ক্ষারকীয় কিন্তু $\text{Al}(\text{OH})_3$ অপেক্ষা বেশি ক্ষারকীয়। ধাতু, ধাতুর অক্সাইড এবং ধাতুর

হাইড্রক্সাইডগুলি লঘু এসিডে দ্রবীভূত হয়ে লবণ গঠন করে। বাতাস থেকে CO₂ শোষণ করে কার্বোনেট লবণ গঠনের জন্য Ln(OH)₃ যৌগগুলি যথেষ্ট ক্ষারকীয়। Ce থেকে Lu পর্যন্ত আয়নিক ব্যাসার্ধ কমার সাথে ক্ষারকত্ব ক্রমান্বয়ে কমেতে থাকে। এজন্য Ce(OH)₃ সবচেয়ে বেশি ক্ষারকীয় এবং Lu(OH)₃ এর ক্ষারকত্ব সবচেয়ে কম। শেষের দিকের মৌলগুলি উত্তপ্ত, ঘন NaOH এ দ্রবীভূত হয়ে জটিল গঠন করে যা এদের কম ক্ষারকত্বের কারণে হয়ে থাকে :



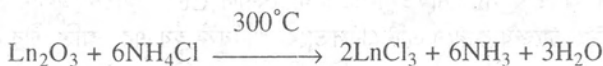
বাতাস উত্তপ্ত করলে সবগুলি ধাতু Ln₂O₃ অক্সাইড গঠন করে। Yb এবং Lu এর ক্ষেত্রে ধাতুর উপরিপৃষ্ঠে অক্সাইডের একটি শক্ত আবরণ সৃষ্টি হয়, ফলে এ আবরণের অভ্যন্তরস্থ ধাতু অক্সাইডে পরিণত হতে পারে না, তবে 1000°C উপরে উত্তপ্ত করলে এ আবরণ ভেঙে সবটুকু ধাতু অক্সাইডে পরিণত হয়। Ce একটি ব্যতিক্রম যা Ce₃O₃ এর পরিবর্তে Ce^{IV}O₂ গঠন করে। অক্সাইডগুলি আয়নিক যৌগ এবং ক্ষারকীয় প্রকৃতির। আয়নগুলির আকার যতই কমতে থাকে অক্সাইডগুলির ক্ষার ধর্ম ততই হ্রাস পায়।

300–400 °C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে ল্যান্থানাইডগুলি হাইড্রোজেনের সাথে বিক্রিয়া করে। উৎপন্ন যৌগগুলির সংকেত LnH₂ হয়। Eu এবং Yb উভয়ের ঝাঁক দ্বিযোজী যৌগ গঠন করা। EuH₂ এবং YbH₂ উভয়েই লবণসদৃশ্য হাইড্রাইড, এদের অণুতে M²⁺ এবং দুটি H⁻ আয়ন উপস্থিত থাকে। এরা বিদ্যুৎ পরিবাহী নয়। অন্যগুলির ক্ষেত্রে LnH₂ পাওয়া যায় যারা সবগুলি কাল, ধাতব প্রকৃতির এবং বিদ্যুৎ পরিবাহী। এদের প্রতিটি অণুকে Ln³⁺+2H⁻+e⁻ হিসেবে দেখানো যায়। ইলেকট্রনটি বিদ্যুৎ পরিবাহী ব্যান্ডে উপস্থিত থাকে, সেজন্য হাইড্রাইডগুলি বিদ্যুৎ পরিবহণ করতে পারে। Yb একটি নন-স্টয়চিয়োমেট্রিক (nonstoichiometric) হাইড্রাইড যৌগ গঠন করে যার সংকেত আনুমানিক YbH_{2.5}। হাইড্রাইডগুলি আনুমানিক 900°C তাপমাত্রা পর্যন্ত সুস্থিত। এরা পানি এবং অক্সিজেন উভয়ের সাথে বিক্রিয়া করে বিয়োজিত হয় :

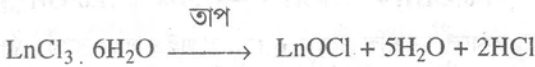


উচ্চ চাপে হাইড্রোজেনের সাথে উত্তপ্ত করলে ডাইহাইড্রাইডগুলি ট্রাইহাইড্রাইডে পরিণত হয় (ব্যতিক্রম EuH₂ থেকে EuH₃ গঠিত হয় না)। ট্রাইহাইড্রাইডগুলিতে কোনো ডিলোকলাইজড (delocalized) ইলেকট্রন থাকে না, এরা বিদ্যুৎ পরিবাহী নয়।

ধাতু এবং হ্যালোজেনকে একসাথে উত্তপ্ত করে অথবা ধাতুর অক্সাইডকে অ্যামোনিয়াম হ্যালাইডে উত্তপ্ত করে শুষ্ক হ্যালাইড যৌগ MX₃ প্রস্তুত করা যায় :



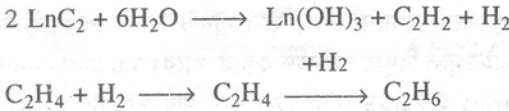
ফ্লোরাইডগুলি অতিমাত্রায় অদ্রবণীয়। Ln^{3+} আয়নের দ্রবণে Na^+F^- অথবা HF যোগ করে LnF_3 অধঃক্ষিপ্ত করা যায়। গুণগত বিশ্লেষণে ল্যান্থানাইড সনাক্ত করার জন্য এ বিক্রিয়াটি ব্যবহার করা যায়। তবে অধিক পরিমাণ F^- আয়ন যোগ করলে ক্ষুদ্র ল্যান্থানাইড আয়নগুলি দ্রবণীয় জটিল $[\text{LnF}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$ গঠন করে। ফ্লোরাইডগুলি পানিশোষী এবং দ্রবণীয়। ছয় অথবা সাত অণু কেলাস পানিসহ এদেরকে কেলাসিত করা যায়। আর্দ্র হ্যালাইডগুলিকে উত্তপ্ত করলে সেগুলি অনার্দ্র হ্যালাইড গঠন না করে অক্সোহ্যালাইড গঠন করে :



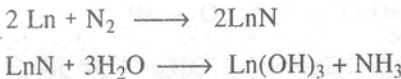
$\text{CeX}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ কে উত্তপ্ত করলে CeO_2 পাওয়া যায়। ব্রোমাইড এবং আয়োডাইডগুলি ফ্লোরাইডগুলির মত আচরণ করে।

ল্যান্থানাইডগুলিকে উচ্চ তাপমাত্রায় বোরনের সাথে উত্তপ্ত করলে LnB_4 এবং LnB_6 গঠিত হয়।

একটি ইলেকট্রিক ফার্নেসে Ln_2O_3 এবং C একত্রে উত্তপ্ত করলে LnC_2 এবং $\text{Ln}_4(\text{C}_2)_3$ যৌগগুলি গঠিত হয়। CaC_2 এর তুলনায় LnC_2 অধিক সক্রিয়। এরা পানির সাথে বিক্রিয়া করে ইথাইন উৎপন্ন করে, সাথে কিছু হাইড্রোজেন, C_2H_4 এবং C_2H_6 যৌগগুলিও পাওয়া যায়। এরা ধাতুর মত বিদ্যুৎ পরিবহণ করে। এদের মধ্যে কোনো Ln^{2+} আয়ন থাকে না। মনে করা হয় Ln^{3+} আয়ন, C_2^{2-} আয়ন এবং কনডাকশন ব্যান্ডে একটি অতিরিক্ত ইলেকট্রন নিয়ে LnC_2 গঠিত হয়।



উচ্চ তাপমাত্রায় ল্যান্থানাইড ধাতুগুলি N , P , As , Sb এবং Bi এর সাথে বিক্রিয়া করে এবং উৎপন্ন যৌগগুলি পানির সাথে বিক্রিয়া করে :

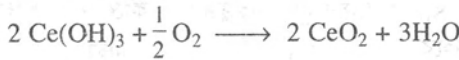


নাইট্রেট, কার্বোনেট, অক্সালেট, সালফেট, ফসফেট, পারক্লোরেট ইত্যাদি আয়নের সাথে ল্যান্থানাইডগুলি বিভিন্ন অক্সোলবণ উৎপন্ন করে।

Ln^{4+} আয়নের যৌগসমূহ (Compounds of Ln^{4+} ions)

+4 জারণ অবস্থার ল্যান্থানাইডগুলির মধ্যে কেবল Ce^{4+} আয়ন জলীয় দ্রবণে সুস্থিত। আয়নের উচ্চ চার্জের কারণে এটি প্রবলভাবে পানিযুক্ত হয় এবং অতি তীব্র এসিডের দ্রবণ ব্যতীত পানিযুক্ত Ce^{4+} আয়ন আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে পলিমার যৌগ এবং H^+ আয়ন গঠন

করে। আয়তনিক বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে KMnO_4 এবং $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ এর পরিবর্তে Ce^{4+} দ্রবণ ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হয়। জৈব বিক্রিয়াতেও Ce^{4+} আয়ন বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়, উদাহরণস্বরূপ অ্যালকোহল, অ্যালডিহাইড এবং কিটোনসমূহের α কার্বনে জারণ ঘটানোর জন্য এটি ব্যবহার করা হয়। Ce^{4+} এর প্রচলিত যৌগগুলি হলো CeO_2 (বিশুদ্ধ অবস্থায় সাদা) এবং $\text{CeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (একটি হলুদ আঠালো অধঃক্ষেপ)। Ce ধাতু অথবা $\text{Ce}(\text{OH})_3$ অথবা $\text{Ce}_2^{II}(\text{oxalate})_3$ বাতাসে উত্তপ্ত করে CeO_2 প্রস্তুত করা যায়। এসিড এবং ক্ষার দ্রবণে এটি অদ্রবণীয়, কিন্তু বিজারিত হয়ে Ce^{3+} গঠন করে দ্রবীভূত হয়।



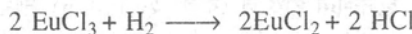
সেরিক সালফেট $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ একটি পরিচিত যৌগ। K_2CrO_4 এর মত এর রং হলুদ। CeF_3 এবং F_2 এর বিক্রিয়া থেকে CeF_4 প্রস্তুত করা যায়। এটি সাদা এবং পানি দ্বারা দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। সেরিক অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট $(\text{NH}_4)_2 [\text{Ce}^{IV}(\text{NO}_3)_6]$ আর একটি সুস্থিত যৌগ। এ যৌগে নাইট্রেট গ্রুপগুলি দ্বি-দস্তী লিগ্যান্ড হিসেবে কাজ করে, ফলে Ce এর সন্নিবেশ সংখ্যা 12 হয়। দ্রবণেও যৌগটির গাঠনিক কাঠামো সুস্থিত থাকে। দুটি নাইট্রেট আয়ন ফসফিন লিগ্যান্ড Ph_3PO দ্বারা অপসারিত করে একটি চার্জ নিরপেক্ষ 10-সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল $[\text{Ce}^{IV}(\text{NO}_3)_4(\text{Ph}_3\text{PO})_2]$ প্রস্তুত করা যায়।

অন্য ল্যান্থানাইডগুলির Ln^{4+} যৌগগুলি জলীয় দ্রবণে সুস্থিত নয়, কেবল কঠিন অবস্থায় অক্সাইড, ফ্লোরাইড এবং কিছু ফ্লোরোজটিল পাওয়া যায়। যেমন PrO_2 , PrF_4 , $\text{Na}_2[\text{PrF}_6]$, TbO_2 , TbF_4 , DyF_4 এবং $\text{Cs}_3[\text{DyF}_7]$ যৌগগুলি জানা রয়েছে।

Ln^{2+} আয়নের যৌগসমূহ (Compounds of Ln^{2+} ions)

জলীয় দ্রবণে Ln^{2+} আয়নগুলির মধ্যে কেবল Sm^{2+} , Eu^{2+} এবং Yb^{2+} জানা রয়েছে।

সবচেয়ে বেশি সুস্থিত দ্বিযোজী ল্যান্থানাইড আয়ন হলো Eu^{2+} । এটি জলীয় দ্রবণে সুস্থিত কিন্তু দ্রবণটি তীব্র বিজারক। $\text{Eu}^{II}_2(\text{SO}_4)_3$ দ্রবণকে তড়িৎ বিজারণ করে $\text{Eu}^{II}\text{SO}_4$ এর অধঃক্ষেপ প্রস্তুত করা যায়। $\text{Eu}^{III}\text{Cl}_3$ কে H_2 দ্বারা বিজারিত করে কঠিন $\text{Eu}^{II}\text{Cl}_2$ প্রস্তুত করা যায়।



Eu^{3+} এর জলীয় দ্রবণকে Mg , Zn , জিংক অ্যামালগাম ইত্যাদি দ্বারা বিজারিত করে Eu^{2+} প্রস্তুত করা যায়। EuH_2 একটি আয়নিক যৌগ এবং এটি CaH_2 এর অনুরূপ। Ca এর সাথে Eu^{II} এর নিম্নলিখিত মিল দেখা যায় :

(১) উভয়ের সালফেট এবং কার্বোনেট যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়।

(২) উভয়ের ডাইক্লোরাইড যৌগ গাঢ় HCl দ্রবণে অদ্রবণীয়।

(৩) উভয় ধাতু তরল অ্যামোনিয়াতে দ্রবণীয়।

Ca এর সাথে Eu এর একটি প্রধান পার্থক্য হলো যেখানে Ca^{2+} একটি ডায়াম্যাগনেটিক আয়ন সেখানে Eu^{2+} একটি প্যারাম্যাগনেটিক আয়ন যার মধ্যে 7টি জোড়হীন ইলেকট্রন থাকে।

Yb^{2+} এবং Sm^{2+} প্রস্তুত করার পদ্ধতি হলো তাদের ত্রিযোজী আয়নকে জলীয় দ্রবণে তড়িৎবিজারিত করা। তবে Ln^{2+} আয়নগুলি বাতাসে দ্রুত জারিত হয়ে Ln^{3+} আয়নে পরিণত হয়। Yb^{2+} এবং Sm^{2+} আয়ন দুটি হাইড্রক্সাইড, কার্বোনেট, হ্যালাইড, সালফেট এবং ফসফেট যৌগ গঠন করে।

কেবল কঠিন অবস্থায় $LnCl_2$ এবং LnI_2 হিসেবে Nd^{2+} , Pm^{2+} , Sm^{2+} , এবং Gd^{2+} পাওয়া যায়। H_2 অথবা Na অ্যামালগাম দ্বারা ট্রাইহ্যালাইড যৌগকে বিজারিত করে ডাইহ্যালাইড যৌগ প্রস্তুত করা যায়। LaI_2 এবং NdI_2 ননস্টয়োচিয়োমেট্রিক (nonstoichiometric) অবস্থায় থাকে। এরা ধাতব পরিবাহিতা দেখায় এবং এদেরকে $La^{3+} + 2I^- + e$ হিসেবে দেখানো হয়।

দ্রাব্যতা (Solubility)

ল্যাঙ্কানাইড লবণগুলিতে সাধারণত কেলাস পানি থাকে। ল্যাটিস শক্তি এবং সলভেশান শক্তির মধ্যে সামান্য পার্থক্যের উপর এদের দ্রাব্যতা নির্ভর করে এবং ল্যাঙ্কানাইড লবণগুলির দ্রাব্যতার কোনো সঠিক প্রবণতা সহজে ব্যাখ্যা করা যায় না। অনেকগুলি লবণের দ্রাব্যতা GrII মৌলের লবণগুলির দ্রাব্যতার অনুরূপ। যেমন ল্যাঙ্কানাইড ক্লোরাইড এবং নাইট্রেটগুলি পানিতে দ্রবণীয় এবং অক্সালেট, কার্বোনেট ও ক্লোরাইড লবণগুলি পানিতে প্রায় অদ্রবণীয়। তবে GrII এর মত না হয়ে সালফেট লবণগুলি দ্রবীভূত হয়। অনেকগুলি ল্যাঙ্কানাইড GrI অথবা অ্যামোনিয়াম লবণগুলির সাথে দ্বি-লবণগঠন করে, উদাহরণ $Na_2SO_4 \cdot Ln_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ । এ দ্বি-লবণগুলি ভাল কেলাস গঠন করে এবং বিভিন্ন ল্যাঙ্কানাইড মৌলকে পরস্পর থেকে পৃথক করার জন্য কেলাসগুলি ব্যবহার করা হয়।

বর্ণ এবং বর্ণালি (Colour and spectra)

অনেকগুলি ত্রিযোজী ল্যাঙ্কানাইড আয়ন কঠিন এবং দ্রবণীয় উভয় অবস্থায় রঙিন হয়। আয়নের f অরবিটালগুলিতে উপস্থিত জোড়হীন ইলেকট্রনের সংখ্যার উপর রং নির্ভর করে। f অরবিটালগুলিতে n সংখ্যক ইলেকট্রন থাকলে যে রং হয় (14-n) সংখ্যক ইলেকট্রন থাকলেও সেই একই রং হয় (সারণি ৪.৩)। কিন্তু অন্য জারণ অবস্থার ল্যাঙ্কানাইডগুলি তাদের সমইলেকট্রনীয় +3 জারণ অবস্থার আয়নগুলির মতো একরূপ রং দেখায় না (সারণি ৪.৪)।

সারণি ৪.৩ : Ln^{3+} আয়নগুলির বর্ণ।

4f ইলেকট্রনের সংখ্যা	বর্ণ	4f ইলেকট্রনের সংখ্যা	বর্ণ	
La^{3+}	0	Lu^{3+}	14	বর্ণহীন
Ca^{3+}	1	Yb^{3+}	13	বর্ণহীন
Pr^{3+}	2	Tm^{3+}	12	হালকা সবুজ
Nd^{3+}	3	Er^{3+}	11	গোলাপি
Pm^{3+}	4	Ho^{3+}	10	হালকা হলুদ
Sm^{3+}	5	Dy^{3+}	9	হলুদ
Eu^{3+}	6	Tb^{3+}	8	হালকা গোলাপি
Gd^{3+}	7	Ga^{3+}	7	বর্ণহীন

সারণি ৪.৪ : Ln^{4+} , Ln^{2+} এবং তাদের সমইলেকট্রনীয় Ln^{3+} আয়নগুলির বর্ণ।

	ইলেকট্রন বিন্যাস	সমইলেকট্রনীয় M^{3+}		
Ce^{4+}	কমলা-লাল	$4f^0$	La^{3+}	বর্ণহীন
Sm^{2+}	রক্ত-লাল	$4f^6$	Eu^{3+}	হালকা গোলাপি
Eu^{2+}	হালকা সবুজ হলুদ	$4f^7$	Ga^{3+}	বর্ণহীন
Yb^{2+}	হলুদ	$4f^{14}$	Lu^{3+}	বর্ণহীন

বর্ণালির দৃশ্যমান এলাকায় একটি নির্দিষ্ট তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো শোষিত হলে রং এর সৃষ্টি হয়। একটি ইলেকট্রনকে নিম্ন শক্তি অবস্থা থেকে উচ্চ শক্তি অবস্থায় উন্নীত করতে যে শক্তি শোষিত হয় তা শোষিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সাথে সম্পর্কযুক্ত। ল্যাঙ্ঘানাইডগুলির ক্ষেত্রে ক্রিস্টাল ফিল্ড স্প্লিটিং (crystal field splitting) এর তুলনায় স্পিন অরবিট কাপলিং (spin orbit coupling) অধিক গুরুত্বপূর্ণ। অবস্থান্তর মৌলগুলির বর্ণালিতে ক্রিস্টাল ফিল্ড স্প্লিটিং সবচেয়ে বেশি গুরুত্বপূর্ণ। একটি ল্যাঙ্ঘানাইড আয়ন ব্যতীত অন্য সবগুলি ল্যাঙ্ঘানাইড আয়ন বর্ণালির দৃশ্যমান অথবা নিকট UV এলাকায় আলো শোষণ করে। ব্যতিক্রমটি হলো Lu^{3+} আয়ন যার একটি পরিপূর্ণ f উপস্তর থাকে। ইলেকট্রনের f-f স্থানান্তরের কারণে বর্ণের সৃষ্টি হয়। f অরবিটালগুলি পরমাণুর অনেক গভীরে থাকে। এজন্য এগুলি পরমাণুর বাইরের দিকে অবস্থিত জটিল সৃষ্টিকারী লিগ্যান্ডগুলির প্রকৃতি এবং সংখ্যার দ্বারা প্রভাবিত হয় না এবং এ লিগ্যান্ডগুলির কম্পন দ্বারাও প্রভাবিত হয় না। এজন্য একটি শোষণ ব্যান্ডের অবস্থান (অর্থাৎ বর্ণ) বিভিন্ন লিগ্যান্ড দ্বারা পরিবর্তিত হয় না। লিগ্যান্ডগুলির কম্পন বাইরের

ফিল্ডকে পরিবর্তিত করে। তবে এর কারণে বিভিন্ন স্পেকট্রোস্কোপিক (Spectroscopic) অবস্থানগুলি মাত্র আনুমানিক 100 cm^{-1} বিশ্লিষ্ট হতে পারে, এজন্য শোষণ ব্যান্ডগুলি অস্বাভাবিক রকম তীক্ষ্ণ হয়। প্রকৃতপক্ষে ল্যান্থানাইড +3 আয়নগুলির দৃশ্যমান এবং নিকট আলট্রাভায়োলেট বর্ণালির সবগুলি শোষণ ব্যান্ড রেখার মতো বৈশিষ্ট্য দেখায়। তাদের তীক্ষ্ণ শোষণ ব্যান্ডের কারণে ল্যান্থানাইডগুলি বিভিন্ন যন্ত্রের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে ক্রমাঙ্কনের কাজে ব্যবহৃত হয়।

দৃশ্যমান অঞ্চলে আলোর শোষণ ঘটে না বলে Ce^{3+} এবং Yb^{3+} বর্ণহীন। তবে 4f থেকে 5d স্তরে ইলেকট্রনের স্থানান্তর হতে পারে বলে এ আয়ন দুটি UV অঞ্চলে তীক্ষ্ণভাবে শোষণ করে।

লিগ্যান্ড থেকে ধাতুতে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হলে চার্জ স্থানান্তর বর্ণালি সৃষ্টি হয়। যদি ধাতুটি উচ্চ জারণ অবস্থায় থাকে অথবা লিগ্যান্ডের বিজারণ ধর্ম থাকে তাহলে চার্জ স্থানান্তর বর্ণালি সৃষ্টি হতে পারে। এরূপ ক্ষেত্রে অতি তীব্র রং দেখা যায়। Ce^{4+} আয়নের তীব্র হলুদ রং চার্জ স্থানান্তরের কারণে হয়ে থাকে। Sm^{2+} আয়নের রক্ত বর্ণও চার্জ স্থানান্তরের কারণে হয়।

চৌম্বক ধর্ম (Magnetic properties)

La^{3+} এবং Ce^{4+} আয়নের f^0 ইলেকট্রন বিন্যাস এবং Lu^{3+} আয়নের f^{14} ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে। এগুলিতে কোনো জোড়হীন ইলেকট্রন না থাকায় এরা ডায়াম্যাগনেটিক প্রকৃতির হয়। অন্যগুলির f অরবিটালে জোড়হীন ইলেকট্রন থাকে, সেজন্য এরা প্যারাম্যাগনেটিক প্রকৃতির হয়।

প্রথম অবস্থান্তর সিরিজের আয়নগুলির প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম যেভাবে সরাসরি 3d অরবিটালে উপস্থিত জোড়হীন ইলেকট্রনগুলির সংখ্যার উপর নির্ভরশীল হয়, ল্যান্থানাইড আয়নগুলির প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম সেভাবে 4f অরবিটালে উপস্থিত জোড়হীন ইলেকট্রনগুলির প্রকৃত সংখ্যার সাথে সরাসরি নির্ভরশীল হয় না। সে কারণে Gd^{3+} আয়নের 4f অরবিটালে সর্বোচ্চ সাতটি জোড়হীন ইলেকট্রন উপস্থিত থাকা সত্ত্বেও এর প্যারাম্যাগনেটিক মোমেন্টের মান সর্বোচ্চ হয় না, অথচ Dy^{3+} আয়নের 4f অরবিটালে পাঁচটি জোড়হীন ইলেকট্রন থাকলেও এর প্যারাম্যাগনেটিক মোমেন্টের সর্বোচ্চ মান থাকে।

ল্যান্থানাইড সংকোচন (Lanthanide contraction)

পর্যায় সারণির যে কোনো গ্রুপের উপর থেকে নিচের দিকে ক্রমশ অধিক সংখ্যক ইলেকট্রনপূর্ণ কক্ষপথের উপস্থিতির কারণে সমযোজী এবং আয়নিক ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। একটি পর্যায়ের বামদিক থেকে ডানদিকে ক্রমশ সমযোজী এবং আয়নিক ব্যাসার্ধ কমেতে থাকে। এর কারণ হলো অধিক সংখ্যক অরবিটাল ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের বাড়তি চার্জকে কিছু পরিমাণে প্রশমিত করতে পারে। এজন্য সবগুলি ইলেকট্রন কক্ষপথ কিছু পরিমাণে সংকুচিত হয়। ইলেকট্রনের শিল্ডিং ইফেক্ট (shielding effect) $s > p > d > f$ অনুক্রমে

কমতে থাকে। এক মৌল থেকে আর এক মৌলে আকারের সংকোচনের পরিমাণ খুবই কম। তবে Ce থেকে Lu পর্যন্ত চৌদ্দটি ল্যান্থানাইডের মোট সংকোচনের মান 0.2\AA , এবং একে ল্যান্থানাইড সংকোচন বলা হয়।

Ce থেকে Lu পর্যন্ত মৌলগুলির কাঠিন্য, গলনাংক এবং স্ফুটনাংক ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। পরমাণুর আকার হ্রাস পেলে বিভিন্ন পরমাণুর মধ্যে আকর্ষণ বল বেড়ে যায় বলে এরূপ হয়।

একটি আয়নের ধর্ম তার আকার এবং চার্জের মানের উপর নির্ভর করে। ল্যান্থানাইড আয়ন Ln^{3+} গুলির একটি থেকে পরবর্তীটিতে ব্যাসার্ধের মান খুব সামান্য পরিবর্তিত হয় (সারণি ৪.৫) এবং তাদের চার্জ সমান থাকে এবং সেজন্য তাদের রাসায়নিক ধর্ম প্রায় অনুরূপ হয়। যেহেতু Lu^{3+} আয়নের আকার ক্ষুদ্রতম, এটি সবচেয়ে বেশি পরিমাণে পানিযুক্ত হয়। যদিও ল্যান্থানাইডগুলি খুব বেশি জটিল গঠন করে না এবং যেহেতু Lu^{3+} সবচেয়ে ছোট আয়ন, সে কারণে Lu^{3+} এর জটিলগুলির বন্ধন সবচেয়ে বেশি প্রবল হয়। La^{3+} এবং Ce^{3+} আয়নগুলির আকার সবচেয়ে বড় হওয়ায় $\text{La}(\text{OH})_3$ এবং $\text{Ce}(\text{OH})_3$ সবচেয়ে তীব্র ক্ষারক হয়।

ল্যান্থানাইড সিরিজের শেষ চারটি মৌলের আকার ল্যান্থানাইড সংকোচনের কারণে পূর্ববর্তী অবস্থান্তর সিরিজে অবস্থিত Y এর আকার থেকে ছোট হয়। যেহেতু ভারি ল্যান্থানাইড আয়নগুলির আকার (বিশেষ করে Dy^{3+} এবং Ho^{3+} আয়নের তুলনায়) Y^{3+} আয়নের আকারের প্রায় সমান, তাদের রাসায়নিক ধর্ম প্রায় অনুরূপ হয়। এ কারণে এ মৌলগুলির পৃথককরণ খুবই কঠিন।

সারণি ৪.৫ : Sc^{3+} , Y^{3+} এবং La^{3+} এবং Ln^{3+} আয়নগুলির আয়নিক ব্যাসার্ধ (\AA)।

Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
0.745	0.900	1.032	1.02	0.99	0.983	0.97	0.958	0.947	0.938	0.923	0.912	0.901	0.890	0.880	0.868	0.861

৪.৫ সারণিতে সমযোজী ব্যাসার্ধগুলি তুলনা করা হয়েছে। কতগুলি ইলেকট্রন মুক্ত করা হয় তার উপর আয়নিক ব্যাসার্ধ নির্ভর করে। একই চার্জবিশিষ্ট আয়নগুলির আকার তুলনা করলে একই ধরনের পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায়।

ল্যান্থানাইড সিরিজ বরাবর আকারের সংকোচনের কারণে যে মৌলগুলি তৃতীয় অবস্থান্তর সিরিজ বরাবর অগ্রসর হয় তাদের আকার ল্যান্থানাইড সিরিজ না থাকলে যত বড় হবার কথা তার চেয়ে ছোট হয়। $\text{Sc} \rightarrow \text{Y} \rightarrow \text{La}$ অনুসারে স্বাভাবিক আকার বৃদ্ধি ল্যান্থানাইডগুলির পর আর থাকে না। যেমন Zr/Hf, Nb/Ta এবং Mo/W ইত্যাদি জোড়াগুলির আকার প্রায় সমান (ল্যান্থানাইড সংকোচন না থাকলে দ্বিতীয় অবস্থান্তর

সিরিজের মৌলগুলির আকারের তুলনায় তৃতীয় অবস্থান্তর সিরিজের মৌলগুলির আকার যথেষ্ট বড় হতো)। এ জোড়াগুলির প্রতিটিতে অবস্থিত মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম খুবই কাছাকাছি রকম, সেজন্য রাসায়নিক পদ্ধতিতে এ জোড়াগুলিতে অবস্থিত মৌল দুটিকে পৃথক করা খুবই কঠিন। তৃতীয় শ্রেণীতে অবস্থিত অবস্থান্তর মৌলগুলির আকার দ্বিতীয় শ্রেণীতে অবস্থিত অনুরূপ অবস্থান্তর মৌলগুলির আকারের প্রায় সমান (সারণি ৪.৬)। এ কারণে দ্বিতীয় এবং তৃতীয় শ্রেণীর অবস্থান্তর মৌলগুলির মধ্যে যত সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায় প্রথম এবং দ্বিতীয় শ্রেণীর অনুরূপ মৌলগুলির মধ্যে সেরূপ সাদৃশ্য দেখা যায় না।

সারণি ৪.৬ অবস্থান্তর মৌলগুলির সমযোজী ব্যাসার্ধ (Å)।

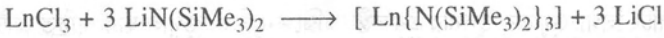
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
1.44	1.32	1.22	1.17	1.17	1.17	1.16	1.15
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
1.62	1.45	1.34	1.29	—	1.24	1.25	1.28
La	* Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
1.69	1.44	1.34	1.30	1.28	1.26	1.26	1.29

↑
14 টি ল্যান্থানাইড মৌল

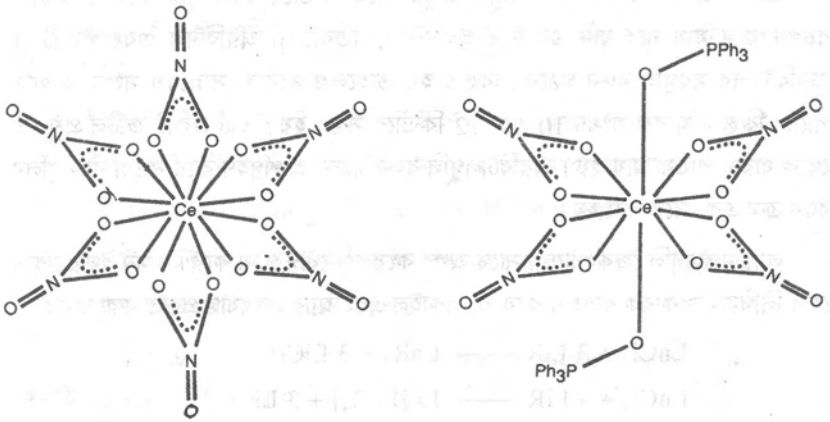
জটিল যৌগসমূহ (Complex compounds)

ল্যান্থানাইড আয়ন Ln^{3+} এর উচ্চ চার্জ থাকার কারণে এদের অনেক জটিল গঠনের ক্ষমতা থাকার কথা। তবে অবস্থান্তর আয়নগুলির আকারের তুলনায় ($Cr^{3+} = 0.61\text{Å}$, $Fe^{3+} = 0.55\text{Å}$, নিম্ন স্পিন) ল্যান্থানাইড আয়নগুলির আকার ($1.03-0.86\text{Å}$) মোটামুটিভাবে অনেক বড় হওয়ায় এরা সহজে জটিল গঠন করে না। যেহেতু অ্যামিনের তুলনায় পানি একটি সবল লিগ্যান্ড সেজন্য জলীয় দ্রবণে ল্যান্থানাইডগুলির অ্যামিন জটিল গঠিত হয় না। তবে অজলীয় দ্রাবকে অ্যামিন যৌগ প্রস্তুত করা যায়। CO , CN^- এবং জৈবধাতব গ্রুপগুলির সাথে অতি অল্প সংখ্যক জটিল গঠিত হয়। অবস্থান্তর ধাতুগুলির সাথে এটি একটি বিপরীত অবস্থা। পার্থক্যের কারণ হলো $4f$ অরবিটালসমূহ পরমাণুর অনেক গভীরে অবস্থিত থাকায় রাসায়নিক বন্ধন গঠনের সুযোগ পায় না। ফলে অবস্থান্তর মৌলে d অরবিটালসমূহ π বন্ধন গঠনে যেভাবে অংশগ্রহণ করে ল্যান্থানাইড মৌলসমূহে অবস্থিত f অরবিটালসমূহ সেভাবে π বন্ধনে অংশ গ্রহণের সুযোগ পায় না। সবচেয়ে সাধারণ এবং সুস্থিত জটিলগুলি হলো চিলেটিং অক্সিজেন লিগ্যান্ড যেমন সাইট্রিক এসিড, অক্সালিক এসিড, $EDTA^{4-}$ এবং অ্যাসিটাইল অ্যাসিটোনের সাথে গঠিত যৌগসমূহ। প্রায়শই এ জটিলগুলির উচ্চ এবং পরিবর্তনশীল সন্ধিবিশেষ সংখ্যা পাওয়া যায় এবং পানি অথবা অন্য কোনো দ্রাবক অণু কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে। NMR বর্ণালিতে জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত Eu^{3+} এবং Pr^{3+} এর β -ডাইকিটোন জটিলগুলি ল্যান্থানাইড সিফট বিকারক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

ল্যান্থানাইড জটিলগুলিতে ছয় অপেক্ষা নিম্নতর সন্নিবেশ সংখ্যা সহজে দেখা যায় না, এবং কেবল (2,6-ডাইমিথাইলফিনাইল) এবং $[N(SiMe_3)_2]^-$ এর মত বৃহৎ লিগ্যান্ডের সাথে গঠিত হতে পারে।



অবস্থান্তর মৌলের জটিলে ছয় সন্নিবেশ সংখ্যা সবচেয়ে বেশি পাওয়া যায় কিন্তু ল্যান্থানাইডগুলিতে ছয় সন্নিবেশ সংখ্যা খুব বেশি পাওয়া যায় না। এক্ষেত্রে সবচেয়ে সাধারণ সন্নিবেশ সংখ্যাগুলি হলো 7, 8 এবং 9 এবং সন্নিবেশ সংখ্যাগুলির কারণে অনেক ধরনের আকৃতির জটিল পাওয়া যায়। বৃহৎ আকারের ল্যান্থানাইড (হালকা ল্যান্থানাইড) এবং ক্ষুদ্র আকারের চিলেটিং লিগ্যান্ডগুলির (যেমন NO_3^- এবং SO_4^{2-} মধ্যে 10 এবং 12 সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল গঠিত হয়।



চিত্র ৪.২ : $[Ce^{IV}(NO_3)_4(OPPh_3)_2]$

চিত্র ৪.১ : $[Ce^{IV}(NO_3)_6]^{2-}$ আয়ন।

Ce^{4+} একটি ক্ষুদ্র আকারের উচ্চ চার্জবিশিষ্ট আয়ন। জলীয় দ্রবণে এটি অত্যন্ত উল্লেখযোগ্য জটিল $(NH_4)_2 [Ce^{IV}(NO_3)_6]$ গঠন করে। এখানে Ce^{IV} এর সন্নিবেশ সংখ্যা 12, প্রতিটি NO_3^- আয়ন দুটি করে অক্সিজেন পরমাণু ব্যবহার করে ধাতুর সাথে সন্নিবেশ

বন্ধন গঠন করে (চিত্র ৪.১)। এ যৌগের দুটি ট্রান্স-নাইট্রেট আয়ন OPPh_3 লিগ্যান্ড দ্বারা প্রতিস্থাপিত করে 10 সন্নিবেশ সংখ্যার চার্জ নিরপেক্ষ $[\text{Ce}^{\text{IV}}(\text{NO}_3)_4 \cdot (\text{OPPh}_3)_2]$ জটিল প্রস্তুত করা যায় (চিত্র ৪.২)।

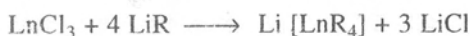
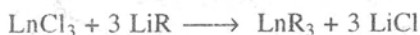
চিলোটিং লিগ্যান্ডগুলির তুলনার একদস্তী অক্সিজেন লিগ্যান্ডগুলি দ্বারা গঠিত জটিলগুলির সুস্থিতি অনেক কম এবং জলীয় দ্রবণে এ জটিলগুলি বিয়োজিত হয়।

ইথিলিনডাইঅ্যামিন এবং NCS^- লিগ্যান্ড ছাড়া অন্য কোনো নাইট্রোজেন লিগ্যান্ড সহজে ল্যাঙ্ঘানাইডগুলির সাথে জটিল গঠন করে না এবং এ জটিলগুলিও জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়।

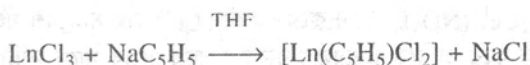
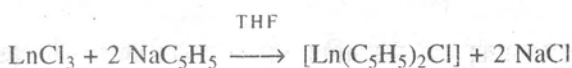
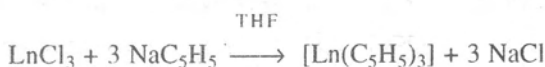
π -বন্ধন সৃষ্টিকারী লিগ্যান্ডগুলির সাথে ল্যাঙ্ঘানাইডগুলি কোনো জটিল গঠন করে না। π বন্ধন গঠনের জন্য পরমাণুর গভীর অভ্যন্তরে অবস্থিত f অরবিটালগুলি বন্ধন গঠনে অংশগ্রহণ করতে পারে না বলেই এরূপ হয়।

উচ্চ সন্নিবেশ সংখ্যার জটিলগুলি ধাতুর সাথে কিভাবে বন্ধন সৃষ্টি করে তা সহজে ব্যাখ্যা করা যায় না। যদি একটি s অরবিটাল, তিনটি p অরবিটাল এবং পাঁচটি d অরবিটালের সবগুলি বন্ধন গঠনে ব্যবহৃত হয় তাহলেও সর্বোচ্চ সন্নিবেশ সংখ্যা 9 হতে পারে। কিন্তু সন্নিবেশ সংখ্যা 10 এবং 12 কিভাবে সম্ভব হয়? এটি একটি জটিল প্রশ্ন। এ থেকে ধারণা পাওয়া যায় হয় f অরবিটালগুলি বন্ধন গঠনে অংশগ্রহণ করে নতুবা বন্ধনগুলির বন্ধন ক্রম এক থেকে কম হয়।

ল্যাঙ্ঘানাইডগুলি জৈব যৌগের সাথে অল্প কয়েকটি যৌগ গঠন করে। যেমন ইথার দ্রবণে জৈব লিথিয়াম বিকারক ব্যবহার করে অ্যালকাইল এবং অ্যারাইল যৌগ প্রস্তুত করা যায় :



সাইক্লোপেন্টাডাইইনাইল যৌগ $[\text{Ln}(\text{C}_5\text{H}_5)_3]$, $[\text{Ln}(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Cl}]$ এবং $[\text{Ln}(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Cl}_2]$ প্রস্তুত করা যায় কিন্তু পানি এবং বাতাসের সংস্পর্শে এগুলি দ্রুত বিয়োজিত হয়।



প্রশ্নমালা

১। ল্যাঙ্ঘানাইড মৌল কোনগুলিকে বলা হয়? এদের প্রতীক, পূর্ণ নাম এবং ইলেকট্রন বিন্যাস উল্লেখ কর।

২। পর্যায় সারণিতে ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলির অবস্থান আলোচনা করা।

৩। “ল্যাঙ্ঘানাইড সংকোচন” বলতে কি বুঝায়? পরবর্তী মৌলগুলির উপর এর প্রভাব কি?

৪। কোন ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলি তাদের স্বাভাবিক +3 জারণ অবস্থা থেকে পার্থক্য দেখায়? এ আয়নগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস দেখাও।

৫। ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নসমূহের সন্নিবেশ সংখ্যা সম্পর্কে বৈশিষ্ট্য কি? উদাহরণ দাও।

৬। ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলির একটি মিশ্রণ থেকে তাদেরকে কিভাবে পৃথক করা যায়?

৭। ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলিকে পরস্পর থেকে পৃথক করার জন্য আয়ন বিনিময় পদ্ধতি আলোচনা কর।

৮। জলীয় দ্রবণে +4 এবং +2 জারণ অবস্থা কোন মৌলগুলির ক্ষেত্রে পাওয়া যায়?

৯। কোন ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলির ক্ষেত্রে অর্ধপূর্ণ f উপস্তর পাওয়া যায়?

১০। কোন ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলির f¹⁴ ইলেকট্রন বিন্যাস পাওয়া যায়?

১১। 4f ইলেকট্রনগুলি রাসায়নিক বন্ধন গঠনে অংশ নেয় না কেন?

১২। ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলসমূহের প্রধান উৎস কি?

১৩। Eu³⁺ এবং Yb³⁺ আয়ন গঠনের জন্য আয়নীকরণ শক্তির মান সকল ল্যাঙ্ঘানাইডের মধ্যে সর্বোচ্চ হয় কেন?

১৪। Ln(OH)₃ যৌগগুলির মধ্যে Ce(OH)₃ সবচেয়ে বেশি এবং Lu(OH)₃ সবচেয়ে কম ক্ষারকীয় হয় কেন?

১৫। অনার্দ্র ল্যাঙ্ঘানাইড ক্লোরাইডসমূহ কিভাবে প্রস্তুত করা যায়?

১৬। কয়েকটি Ln⁴⁺ আয়ন সংবলিত যৌগের উদাহরণ দাও।

১৭। কারণ ব্যাখ্যা কর :

La³⁺, Ce⁴⁺ এবং Lu³⁺ আয়নগুলি ডায়াম্যাগনেটিক কিন্তু সব ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলি প্যারাম্যাগনেটিক।

১৮। $[Ce^{IV} (NO_3)_6]^{2-}$ এবং $[Ce^{IV} (NO_3)_4 (OPPh_3)_2]$ জটিল দুটির গাঠনিক কাঠামো ঐকে দেখাও।

১৯। গ্যাডোলিয়াম এবং লিউটিসিয়াম কেবল +3 আয়ন গঠন করে। এর কারণ কি?

২০। $Ln(C_5H_5)_3$ যৌগটি কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? এর গাঠনিক কাঠামো ঐকে দেখাও।

পঞ্চম অধ্যায়

দ্বিতীয় অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ : অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহ

(The Second Inner Transition Series : The Actinides)

ইলেকট্রন বিন্যাস এবং পর্যায় সারণিতে অবস্থান (Electronic structure and position in the periodic table)

অ্যাক্টিনিয়াম ($Z = 89$) থেকে লরেনসিয়াম ($Z = 103$) পর্যন্ত পনেরটি মৌল দ্বিতীয় অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ গঠন করে। প্রথম মৌল অ্যাক্টিনিয়ামের সাথে সবগুলি মৌল তাদের ভৌত এবং রাসায়নিক ধর্মে অত্যন্ত মিল দেখায়। এজন্য পনেরটি মৌলকে একসাথে অ্যাক্টিনাইড মৌল বলা হয়। ৫.১ নং সারণিতে মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস এবং আয়নিক ব্যাসার্ধ দেখানো হয়েছে। সারণি থেকে দেখা যায় ল্যাক্সনাইড সংকোচনের মতো এখানেও “অ্যাক্টিনাইড সংকোচন” ঘটে।

সারণি ৫.১ : অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং আয়নিক ব্যাসার্ধ

Z	নাম	প্রতীক	ইলেকট্রন বিন্যাস	ব্যাসার্ধ (Å)	
				M ³⁺	M ⁴⁺
89	অ্যাক্টিনিয়াম	Ac	[Rn]6d ¹ 7s ²	1.11	
90	থোরিয়াম	Th	[Rn]6d ² 7s ²		0.90
91	প্রোটাকটিনিয়াম	Pa	[Rn]5f ² 6d ¹ 7s ² অথবা [Rn]5f ¹ 6d ² 7s ²		0.96
92	ইউরানিয়াম	U	[Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	1.03	0.93
93	নেপচুনিয়াম	Np	[Rn]5f ⁵ 7s ²	1.01	0.92
94	প্লুটোনিয়াম	Pu	[Rn]5f ⁶ 7s ²	1.00	0.90
95	অ্যামেরিসিয়াম	Am	[Rn]5f ⁷ 7s ²	0.99	0.89
96	কুরিয়াম	Cm	[Rn]5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	0.985	0.88

97	বার্কেলিয়াম	Bk	$[Rn]5f^86d^17s^2$ অথবা $[Rn]5f^97s^2$	0.98
98	কালিফোর্নিয়াম	Cf	$[Rn]5f^{10}7s^2$	0.977
99	আইনস্টেনিয়াম	Es	$[Rn]5f^{11}7s^2$	
100	ফার্মিয়াম	Fm	$[Rn]5f^{12}7s^2$	
101	মেন্ডেলিভিয়াম	Md	$[Rn]5f^{13}7s^2$	
102	নোবেলিয়াম	No	$[Rn]5f^{14}7s^2$	
103	লরেনসিয়াম	Lr	$[Rn]5f^{14}6d^17s^2$	

অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলি পর্যায় সারণির সপ্তম পর্যায় এবং তৃতীয় গ্রুপে অবস্থিত। প্রথম মৌল অ্যাক্টিনিয়ামের ইলেকট্রন বিন্যাস $[Rn]6d^17s^2$ । $6d$ উপস্তরে ইলেকট্রন প্রবেশ প্রথম এ মৌলটিতে আরম্ভ হয়। এর প্রকৃতি Sc ($[Ar]3d^14s^2$), Y ($[Kr]4d^15s^2$) এবং La ($[Xe]5d^16s^2$) এর অনুরূপ। ল্যাঙ্ঘানামের পর যা ঘটে তার সাথে তুলনা করে আশা করা যায় পরবর্তী চৌদ্দটি মৌলে ইলেকট্রনগুলি ক্রমশ $5f$ উপস্তরে প্রবেশ করবে এবং একটি দ্বিতীয় অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজ গঠিত হবে। বাস্তবেও তাই হয়। এই অন্তঃঅবস্থান্তর সিরিজের চৌদ্দটি মৌলের [Th (Z = 90) থেকে Lr (Z = 103)] ধর্ম Ac (Z = 89) এর ধর্মের অনুরূপ হয়। অনুরূপ ধর্মের কারণে অ্যাক্টিনিয়াম এবং তার পরবর্তী চৌদ্দটি মৌল অর্থাৎ Ac (Z = 89) থেকে Lr (Z = 103) পর্যন্ত মোট পনেরটি মৌলকে একত্রে অ্যাক্টিনাইড মৌল বলা হয়। পনেরটি অ্যাক্টিনাইড মৌলের জন্য পর্যায় সারণিতে একটি অবস্থান থাকা উচিত, কিন্তু স্থান অভাবের জন্য Ac এর উপর দুটি তারকা চিহ্ন (* *) দিয়ে পরবর্তী চৌদ্দটি মৌলকে পর্যায় সারণির নিচে আলাদা স্থান দেওয়া হয়। তবে অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির ইলেকট্রন বিন্যাস ছব্ব ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলির সরল ইলেকট্রন বিন্যাসের সাথে মিলে না।

ল্যাঙ্ঘানামের ঠিক পরে $4f$ অরবিটালগুলির শক্তি $5d$ অরবিটালগুলির শক্তি অপেক্ষা উপলব্ধিযোগ্য পরিমাণে কমে যায়। সে কারণে ল্যাঙ্ঘানাইডগুলিতে ইলেকট্রনগুলি ক্রমশ নিয়মিতভাবে $4f$ অরবিটালে প্রবেশ করতে থাকে (তবে অর্ধপূর্ণ $4f$ উপস্তর গঠনের জন্য কোনো কোনো ক্ষেত্রে ব্যতিক্রম ঘটে)। মনে হতে পারে যে, Ac এর পরে $5f$ অরবিটালগুলির শক্তি $6d$ অরবিটালগুলির শক্তি অপেক্ষা নিম্ন হবে। কিন্তু প্রথম চারটি অ্যাক্টিনাইড মৌল Th, Pa, U এবং Np এর ক্ষেত্রে $5f$ এবং $6d$ অরবিটালগুলির মধ্যে শক্তির পার্থক্য খুবই কম। এজন্য এ চারটি মৌল এবং তাদের আয়নগুলিতে ইলেকট্রন $5f$ অথবা $6d$ উপস্তরে অথবা কোনো কোনো সময় উভয় উপস্তরে প্রবেশ করে। Np এর পর এ সিরিজের পরবর্তী মৌলগুলিতে $5f$ অরবিটালগুলির শক্তি বাস্তবিকই উপলব্ধিযোগ্য পরিমাণে কমে যায়। অতএব

Pu থেকে শুরু করে পরবর্তী অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলিতে 5f অরবিটালগুলি নিয়মিতভাবে পূর্ণ হয় এবং মৌলগুলির প্রকৃতি ল্যান্থানাইড মৌলগুলির সাথে অত্যন্ত ঘনিষ্ঠভাবে মিলে যায়।

1940 সালের পূর্বে অ্যাক্টিনাইড সিরিজের কেবল প্রথম চারটি মৌল Ac, Th, Pa এবং U জানা ছিল। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত সবচেয়ে ভারি মৌল হলো ইউরেনিয়াম। দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধকালে এবং পরবর্তীতে পারমাণবিক শক্তির উপর গবেষণাকালে অবশিষ্ট অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলি প্রস্তুত করা হয়েছে। ল্যান্থানাইড এবং অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলিকে ৫.২ সারণি অনুযায়ী তুলনা করা যায়।

সারণি ৫.২ : ল্যান্থানাইড এবং অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহের তুলনা।

ল্যান্থানাইডসমূহ →	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Ln
অ্যাক্টিনাইডসমূহ →	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

ল্যান্থানাইড এবং পরবর্তী অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির মধ্যে অনেক সদৃশ্য রয়েছে। Cm অত্যন্ত ঘনিষ্ঠভাবে Gd এর সাথে মিলে যায় এবং উভয়ের ইলেকট্রন বন্টন f^7, d^1, s^2 হয়। আয়ন বিনিময় কলামে ইলিউশন (elution) প্রক্রিয়ায় অ্যাক্টিনাইড মৌল Am, Cm, Bk এবং Cf এর অনুক্রম ল্যান্থানাইড মৌল Eu, Gd, Tb এবং Dy এর অনুক্রমের সমান্তরাল হয়।

শোষণ বর্ণালিতে Pa, U, Np, Pu এবং Cm মৌলগুলি অতি তীক্ষ্ণ রেখা দেখায়। এটি f-f বর্ণালির একটি বৈশিষ্ট্যপূর্ণ আচরণ। ল্যান্থানাইড মৌলগুলির বর্ণালির রেখাগুলির তুলনায় অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির বর্ণালি রেখা অত্যন্ত দশ গুণ বেশি তীক্ষ্ণ। একটিমাত্র f ইলেকট্রন উপস্থিত থাকলে বর্ণালিতে কেবল একটি রেখা পাওয়া যেত এবং সে কারণে বর্ণালি ব্যাখ্যা করা সহজ হতো। বাস্তবে বর্ণালিগুলি খুবই জটিল এবং এগুলি ব্যাখ্যা করা কঠিন। অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির চৌম্বক ধর্মও ব্যাখ্যা করা কঠিন।

মৌলগুলির নিম্নতম শক্তি অবস্থায় d ইলেকট্রনের উপস্থিতি কোনো গুরুত্বপূর্ণ ব্যাপার নয়। মৌলগুলির সবচেয়ে সাধারণ জারণ অবস্থায় (III) দুটি s ইলেকট্রন এবং একটি d ইলেকট্রন (যদি থাকে) মুক্ত হয়। 5f এবং 6d অরবিটালের শক্তি খুবই কাছাকাছি। উন্নতিকরণ শক্তি (promotion energy) $5f \rightarrow 6d$ এর তুলনায় বন্ধন শক্তির মান বেশি। 7s এবং 7p অরবিটালের শক্তি তুলনামূলকভাবে কাছাকাছি। সেজন্য ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ শক্তিস্তরগুলির অনুক্রম লিগ্যান্ডের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে পরিবর্তিত হয়। কোন অরবিটালগুলি ব্যবহৃত হয় তা অধিকাংশ ক্ষেত্রে জানা যায় না।

5f অরবিটালগুলির আকার এত বড় যে, এগুলি 6s এবং 6p অরবিটালগুলি থেকে কিছুটা বাইরে চলে আসে এবং রাসায়নিক বন্ধন গঠনে অংশ নেয়। ল্যান্থানাইডগুলির সাথে এটি একটি বড় ধরনের পার্থক্য, কারণ ল্যান্থানাইডগুলির ক্ষেত্রে 4f অরবিটালগুলি সম্পূর্ণরূপে

5s এবং 5p অরবিটালগুলি দ্বারা ঢাকা থাকে এবং সেজন্য রাসায়নিক বন্ধনে অংশগ্রহণ করতে পারেনা। 5f অরবিটালের রাসায়নিক বন্ধনে অংশগ্রহণের কারণেই প্রথম দিকের অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির উচ্চ জারণ সংখ্যা পাওয়া যায়।

জারণ অবস্থা (Oxidation states)

ল্যান্থানাইডগুলির তুলনায় অ্যাক্টিনাইডগুলির জারণ অবস্থা অনেক ব্যাপক। এর কারণ 5f, 6d, এবং 7s উপস্তরগুলির শক্তি খুবই কাছাকাছি। ৫.৩ সারণিতে অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির জারণ অবস্থাসমূহ দেখানো হয়েছে।

সারণি ৫.৩ : অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলির বিভিন্ন জারণ অবস্থা।

Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
						2			2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	4	4						
		5	5	5	5	5								
			6	6	6	6								
				7	7									

নিচে বিভিন্ন জারণ অবস্থা সম্পর্কে আলোচনা করা হয়েছে।

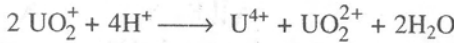
+2 অবস্থা : কঠিন অবস্থায় +2 জারণ অবস্থা কেবল Am এ পাওয়া যায়। Am^{2+} এর f⁷ বিন্যাস থাকে যা ল্যান্থানাইড সিরিজের Eu^{2+} আয়নের অনুরূপ। এ জারণ অবস্থা কঠিন AmF_2 -তে পাওয়া যায়। Cf, Es, Fm, Md এবং No এর ক্ষেত্রে দ্রবণে +2 অবস্থা পাওয়া যায়। এগুলি রাসায়নিকভাবে Ba^{2+} এর অনুরূপ। No এর জন্য +2 সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা কারণ এ আয়নে f¹⁴ ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে।

+3 জারণ অবস্থা : ল্যান্থানাইডগুলির মতো সবগুলি অ্যাক্টিনাইডের +3 জারণ অবস্থা থাকে কিন্তু অ্যাক্টিনাইডের ক্ষেত্রে এটি সবগুলি মৌলের সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা নয়। প্রথমদিকের মৌল Th, Pa, U, Np এবং Pu এবং শেষদিকের মৌল No ও Lr এর ক্ষেত্রে +3 সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা নয়। উদাহরণস্বরূপ, U^{3+} আয়ন বাতাসে এবং দ্রবণে সহজে জারিত হয়ে U^{4+} আয়ন গঠন করে। তবে প্রথম মৌল Ac এবং শেষদিকের Am থেকে Md পর্যন্ত মৌলগুলির জন্য +3 জারণ অবস্থা খুবই সুস্থিত।

+4 জারণ অবস্থা : থোরিয়ামের জন্য +4 জারণ অবস্থা সবচেয়ে সুস্থিত। Pa, U, Np, Pu এবং Bk এর জন্য +4 আয়ন দ্রবণে পাওয়া যায়, কিন্তু Am এবং Cm এর +4 জারণ

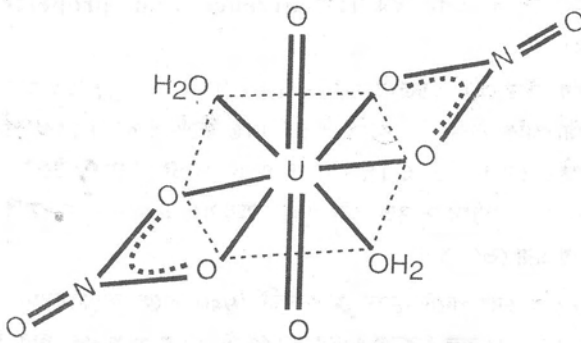
অবস্থা দ্রবণে কেবল জটিল ফ্লোরোঅ্যানায়ন হিসেবে পাওয়া যায়। উল্লেখিত সবগুলি মৌল কঠিন +4 যৌগ গঠন করে। সবগুলি মৌল কঠিন MO₂ এবং MF₄ গঠন করে।

+5 জারণ অবস্থা : Pa থেকে Am পর্যন্ত সবগুলি মৌল +5 জারণ অবস্থা দেখায় এবং Pa ও Np এর জন্য এটি সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা। এরূপ জারণ অবস্থার কতিপয় কঠিন যৌগ জানা রয়েছে। দ্রবনে M⁵⁺ আয়ন পাওয়া যায় না, কিন্তু pH 2-4 সীমানার মধ্যে MO₂⁺ আয়ন পাওয়া যায়। এ অক্সোআয়নগুলি কঠিন অবস্থায় সরল রৈখিক [O=M=O]⁺ অবস্থায় থাকে। দ্রবণে এ আয়নগুলি দ্রুত অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া করে, কিন্তু কঠিন অবস্থায় সুস্থিত।



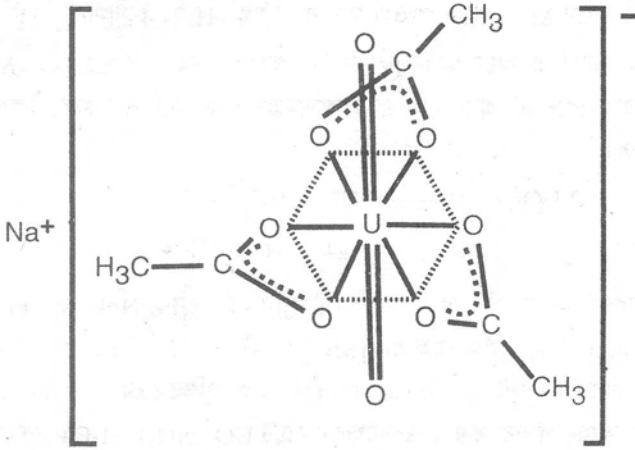
জারণ অবস্থা : +5 +4 +6

+6 জারণ অবস্থা : +6 জারণ অবস্থার সরল যৌগগুলি হলো UF₆, NpF₆ এবং PuF₆। U, Np, Pu এবং Am এর ডাইঅক্সোআয়ন [MO₂]²⁺ +6 জারণ অবস্থার আরো কয়েকটি উদাহরণ। এ আয়নটি সরলরৈখিক [O=M=O]²⁺ এবং সুস্থিত। দ্রবণ এবং কেলাস উভয় ক্ষেত্রেই এরূপ আয়ন পাওয়া যায়। ইউরানাইল নাইট্রেট UO₂(NO₃)₂(H₂O)₂ কেলাসে দুটি NO₃⁻ আয়ন এবং দুটি H₂O অণু দ্বারা [O=U=O]²⁺ আয়ন পরিবেষ্টিত থাকে। NO₃⁻ গ্রুপগুলি দ্বি-দণ্ডীয় এবং সেজন্য প্রতিটি NO₃⁻ আয়ন থেকে দুটি অক্সিজেন পরমাণু U এর সাথে যুক্ত থাকে। দুটি H₂O অণুর অক্সিজেন পরমাণু দুটিও U এর সাথে যুক্ত থাকে। ফলে U এর সমন্বিত সংখ্যা আট হয় (চিত্র ৫.১)।



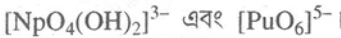
চিত্র ৫.১ : UO₂(NO₃)₂(H₂O)₂ এর গাঠনিক কাঠামো।

একইভাবে সোডিয়াম ইউরানাইল অ্যাসিটেট $\text{Na}[\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3]$ যোগে অ্যাসিটেট আয়নগুলি দ্বি-দণ্ডীয় লিগ্যান্ড হিসেবে কাজ করে এবং সেজন্য এখানেও U এর সন্নিবেশ সংখ্যা আট হয় (চিত্র ৫.২)।



চিত্র ৫.২ : $\text{Na}[\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3]$ এর গাঠনিক কাঠামো।

+7 জারণ অবস্থা : Np এবং Pu এর অক্সোঅ্যানায়নে +7 জারণ অবস্থা পাওয়া যায়। ক্ষারীয় দ্রবণকে ওজোন দ্বারা জারিত করে এরূপ আয়ন তৈরি করা যায়। উদাহরণ :

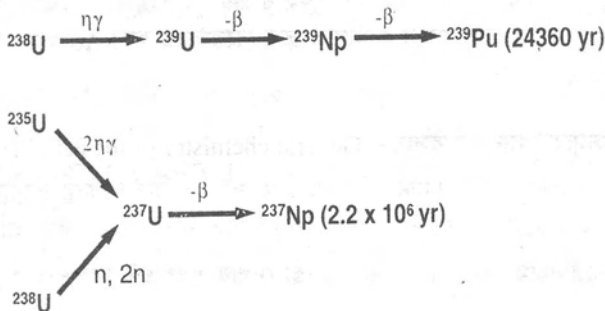


মৌলসমূহের উৎস এবং ধর্ম (Occurrence and properties of the elements)

সবগুলি অ্যাক্টিনাইড মৌল তেজস্ক্রিয়। ^{235}U , ^{238}U এবং ^{232}Th এর অর্ধায়ু অত্যন্ত দীর্ঘ হওয়ায় এ মৌলগুলি সৃষ্টির পর থেকে এখন পর্যন্ত টিকে রয়েছে। তেজস্ক্রিয় সিরিজে এ মৌলগুলি গঠিত হয় এবং U ও Th খনিজে এগুলি পাওয়া যায়। ইউরেনিয়ামের পরবর্তী মৌলগুলির মধ্যে সবচেয়ে সুস্থিত মৌলগুলির অর্ধায়ুও এত কম যে, সৃষ্টির অতি অল্প সময়ের মধ্যেই এরা ভেঙে যায়।

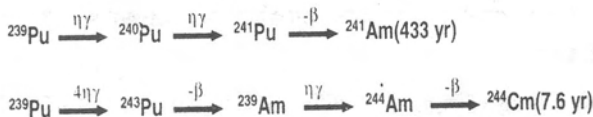
নেপচুনিয়াম এবং প্লুটোনিয়াম মৌল দুটি 1940 সালে ম্যাকমিলান, অ্যাবেলসন, সিভোর্গ, কেনেডি এবং ভল বার্কলে শহরে সাইক্লোট্রন থেকে প্রাপ্ত কণা দ্বারা ইউরেনিয়ামকে আঘাত করে সৃষ্টি করেন। এখন দুটি মৌলকেই নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরে খরচ হয়ে যাওয়া

ইউরেনিয়াম জ্বালানি থেকে পাওয়া যায় যেখানে ^{235}U এর ফিশান বিক্রিয়া থেকে প্রাপ্ত নিউট্রনের বিক্রিয়ায় এরা গঠিত হয়।

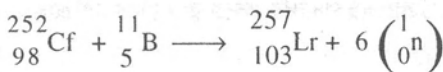
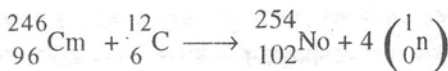
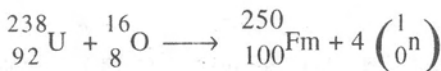
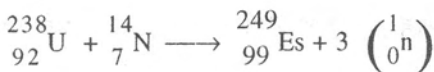


^{235}U এর মতো ফিশান ধর্ম থাকার কারণে এবং নিউক্লিয়ার ফুয়েল অথবা নিউক্লিয়ার অস্ত্র প্রস্তুতে ব্যবহৃত হয় বলে ^{239}Pu স্বাভাবিকভাবে পুনরুদ্ধার করা হয়। সেটেলাইটের শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহারের জন্য কিছু পরিমাণ ^{237}Np কে ^{238}Pu (56.4 yr) প্রস্তুতের জন্য ব্যবহার করা হয়।

নিউক্লীয় চুল্লিতে ^{239}Pu কর্তৃক বার বার নিউট্রন করায়ান্তকরণ বিক্রিয়া দ্বারা Pu এর পরবর্তী মৌলগুলির আইসোটোপ প্রস্তুত করা হয়। উদাহরণ :



ত্বরাঙ্কত B^{5+} , C^{6+} , N^{7+} অথবা O^{8+} আয়ন দ্বারা U, Pu, Am, Cm এবং Cf-কে আঘাত করে 99—104 পারমাণবিক সংখ্যার মৌলগুলি প্রস্তুত করা হয়।



^{237}Np এবং ^{239}Pu কে কয়েক কিলোগ্রাম পরিমাণে; Am এবং Cm কে 100g এর বেশি পরিমাণে; Bk, Cf এবং Es কে মিলিগ্রাম পরিমাণে; এবং Fm কে 10^{-6}g পরিমাণে প্রস্তুত করা যায়। Fm এর পরবর্তী মৌলগুলি অত্যন্ত স্বল্পায়ু এবং সে কারণে অতি অল্প পরিমাণে পাওয়া যায়। সবগুলি ধাতু রাসায়নিকভাবে খুবই সক্রিয়। স্বল্পায়ু বিশিষ্ট মৌল থেকে যে তীব্র বিকিরণ বের হয় তার ফলে এদের যৌগগুলি দ্রুত বিযোজিত হয়। Ac এবং Cm উভয়েই অন্ধকারে জ্বল জ্বল করে।

অ্যাক্টিনাইডসমূহের সাধারণ রসায়ন (General chemistry of the actinides)

অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম অত্যন্ত জটিল, বিশেষ করে দ্রবণীয় অবস্থায়। সবগুলি মৌল ইলেকট্রোপজিটিভ ধাতু, এদের বৈশিষ্ট্যগুলি নিচে উল্লেখ করা হলো।

(১) অ্যাক্টিনিয়াম কেবল +3 জারণ অবস্থা দেখায় এবং এটি সম্পূর্ণরূপে ল্যাঙ্ঘানামের অনুরূপ।

(২) থোরিয়াম এবং প্রোটাকটিনিয়াম অন্য মৌলগুলির সাথে সামান্য মিল দেখায়।

(৩) ইউরেনিয়াম, নেপচুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং আমেরিসিয়াম মৌলগুলি পরস্পরের অনুরূপ। এরা প্রধানত এদের জারণ অবস্থার (যা +3 থেকে +6 পর্যন্ত হতে পারে) আপেক্ষিক সুস্থিতির দিক দিয়ে পৃথক হয়।

(৪) কুরিয়াম ল্যাঙ্ঘানাইডগুলির অনুরূপ এবং গ্যাডোলিয়ামের মতো এর অর্ধপূর্ণ 5f উপস্তর থাকে। গ্যাডোলিয়ামের সাথে এর পার্থক্য হলো এটি +4 যৌগ গঠন করে। ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলির সাথে তুলনা অনুসারে পূর্ববর্তী মৌল Eu এর মতো আমেরিসিয়ামের +2 জারণ অবস্থা এবং পরবর্তী মৌল Tb এর মতো বার্কেলিয়ামের +4 জারণ অবস্থা থাকা উচিত। বাস্তবেই তাই হয়।

(৫) Cm এবং Lr মৌল দুটি ল্যাঙ্ঘানাইডগুলির অনুরূপ। Lu এর মতো লরেনসিয়ামের f উপস্তর 14টি ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে। ফলে 104 পারমাণবিক সংখ্যার Rf মৌলটি Hf এর অনুরূপ হওয়া উচিত। বাস্তবেও তাই হয়।

(৬) ল্যাঙ্ঘানাইড জটিলগুলির মতো অ্যাক্টিনাইড জটিলগুলির উচ্চ সন্নিবেশ সংখ্যা থাকে, যেমন $[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]^{2-}$ আয়নে Th এর সন্নিবেশ সংখ্যা 12। এদের সন্নিবেশ জ্যামিতি অত্যন্ত জটিল।

(৭) U, Np, Pu এবং Am এর বিভিন্ন ক্যাটায়নগুলি অত্যন্ত জটিল দ্রবণ সৃষ্টি করে। বিভিন্ন জারণ অবস্থার মধ্যে মুক্ত শক্তির (free energy) পার্থক্য খুব কম, যেমন Pu এর ক্ষেত্রে দ্রবণে +3, +4, +5, এবং +6 জারণ অবস্থাগুলি একত্রে সহাবস্থান করে। আর্দ্র বিশ্লেষণ, পলিমারকরণ, জটিল গঠন এবং অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়া দ্বারা এদের রসায়ন খুবই জটিল হয়। তাছাড়া, অধিকাংশ তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষেত্রে রাসায়নিক বিক্রিয়া তীব্র বিকিরণ দ্বারা প্রভাবিত হয়।

ধাতুসমূহ (The metals)

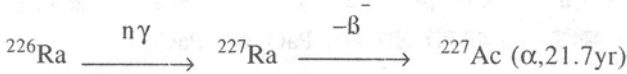
1100–1400°C তাপমাত্রায় Li, Mg অথবা Ca দ্বারা অনার্দ ফ্লোরাইড, ক্লোরাইড অথবা অক্সাইডসমূহের বিজারণ বিক্রিয়া করে ধাতুগুলি প্রস্তুত করা হয়। এগুলি রূপার মতো সাদা এবং সক্রিয় কিন্তু বাতাসে উজ্জ্বলতা হারায়। এরা সাধারণ এসিডে দ্রবীভূত হয়, সম্ভবত HNO₃ অথবা HCl সবচেয়ে ভালো দ্রাবক।

ইউরেনিয়ামের একটি কালো জারিত আবরণ থাকে। ²³⁵U এর পরিমাণ বেশি হলে একটি নির্দিষ্ট সংকট ভরের (critical mass) উর্ধ্ব ধাতুটি নিউক্লিয় বিস্ফোরণ ঘটায়। প্লুটোনিয়ামের ক্ষেত্রেও এটি ঘটে। U, Np এবং Pu এর ধর্ম অনুরূপ এবং এরা সকল ধাতুর মধ্যে সবচেয়ে ভারি।

আমেরিসিয়াম এবং কুরিয়াম যথেষ্ট হালকা ধাতু এবং এদের গলনাংক U, Np ও Pu এর গলনাংক অপেক্ষা উচ্চ। ল্যান্থানাইডগুলির সাথে এদের মিল রয়েছে। ক্যালিফোর্নিয়াম এর ধাতব ব্যাসার্ধ প্রমাণ করে এটি Eu এবং Yb এর মতো দ্বি-যোজী।

অ্যাক্টিনিয়াম (Actinium)

U এর খনিজে Ac কে অতি অল্প মাত্রায় পাওয়া যায়। নিচের নিউট্রন বিক্রিয়া দ্বারা মিলিগ্রাম স্কেলে এটি প্রস্তুত করা যায় :



রসায়নের দিক দিয়ে এটি ল্যান্থানামের অনুরূপ।

থোরিয়াম (Thorium)

থোরিয়ামের প্রধান উৎস মোনাজাইট বালু। এটি একটি জটিল ফসফেট যার মধ্যে ল্যান্থানাইডগুলিও উপস্থিত থাকে। মোনাজাইটকে NaOH দ্রবণ দ্বারা উত্তপ্ত করা হয় এবং অদ্রবণীয় হাইড্রক্সাইডগুলি ফিল্টার করে পৃথক করা হয়। অতঃপর একে HCl এ দ্রবীভূত করা হয়। দ্রবণের pH এর মান 6 করলে Th(IV) এবং Ce(IV) এর হাইড্রক্সাইডগুলি অধঃক্ষিপ্ত হয়। এর ফলে ত্রিযোজী ল্যান্থানাইডগুলি থেকে এরা পৃথক হয়। অধঃক্ষিপ্ত হাইড্রক্সাইডগুলি 6M HCl এ দ্রবীভূত করা হয় এবং কেরোসিনে ট্রাইবিউটাইল ফসফেট দ্রবণ দ্বারা নিষ্কাশিত করা হয়। থোরিয়ামের একমাত্র সুস্থিত জারণ অবস্থা হলো +4 এবং Th⁴⁺ আয়ন কঠিন অবস্থায় এবং দ্রবণে পাওয়া যায়।

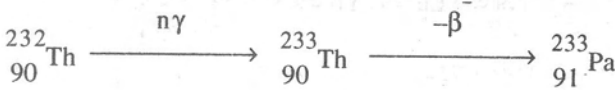
থোরিয়ামের সবচেয়ে সাধারণ যৌগ হলো থোরিয়াম নাইট্রেট, Th(NO₃)₄·5H₂O। পানি, অ্যালকোহল, কিটোন এবং এস্টার দ্রাবকে এটি দ্রবণীয়। লঘু দ্রবণে [Th(H₂O)₄]⁴⁺ আয়ন পাওয়া যায় এবং NaOH যৌগ করলে Th(OH)₄ অধঃক্ষিপ্ত হয়। এটি বিভিন্ন জটিল যৌগ গঠন করে, উদাহরণ : K₄[Th (C₂O₄)₄], H₂O এবং M¹¹[Th(NO₃)₆]। উত্তপ্ত

করলে নাইট্রেট যৌগটি বিয়োজিত হয়ে তাপসহ ThO_2 গঠন করে। এর গলনাংক অতি উচ্চ (3200°C)। এটি নাইট্রিক এসিড এবং হাইড্রোফ্লোরিক এসিডের মিশ্রণে দ্রবীভূত হয়। 600°C তাপমাত্রায় ThO_2 কার্বন টেট্রাক্লোরাইডের সাথে বিক্রিয়া করে ThCl_4 গঠন করে যা একটি লুইস এসিড।

হ্যালোজেনের সাথে সরাসরি বিক্রিয়া করে শুষ্ক ThX_4 যৌগ গঠিত হয়। হ্যালাইডগুলি উচ্চ গলনাংকবিশিষ্ট এবং এদের রং সাদা। আর্দ্র বাতাসে এরা অক্সোহ্যালাইড ThOX_2 গঠন করে। Th(IV) যৌগগুলিতে কোনো d অথবা f ইলেকট্রন না থাকায় এরা সব সময় সাদা হয়।

প্রোটাকটিনিয়াম (Protactinium)

ইউরেনিয়ামের আকরিক পিচব্লেন্ডে (UO_2) অতি সামান্য পরিমাণ (প্রায় 0.1 ppm) প্রোটাকটিনিয়াম পাওয়া যায়। খনিজ থেকে প্রোটাকটিনিয়ামকে আলাদা করা খুবই কঠিন। থোরিয়াম থেকে নিচের বিক্রিয়া দ্বারা এটি প্রস্তুত করা যায়।



Pa এর সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা হলো +5। Pa যৌগগুলিকে বাতাসে পুড়িয়ে Pa_2O_5 উৎপন্ন করা যায়। Pa_2O_5 এর সাথে BrF_3 বিক্রিয়া করে PaF_5 গঠন করে। +4 জারণ অবস্থায় Pa এর দুটি যৌগ হলো PaO_2 এবং PaCl_4 ।

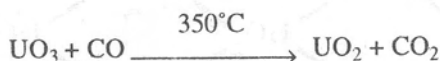
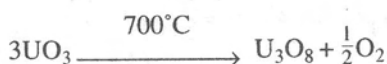
ইউরেনিয়াম (Uranium)

প্রকৃতিতে Ag, Hg, Cd অথবা Bi এর তুলনায় U এর প্রাচুর্য বেশি। এর দুটি প্রধান আকরিক হলো ইউরেনিয়াম, $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ এবং পিচ বেন্ড যার আনুমানিক সংকেত UO_2 ।

ইউরেনিয়াম নিষ্কাশনের অনেকগুলি পদ্ধতি রয়েছে যার সবগুলি খুবই জটিল। কিন্তু সব পদ্ধতিরই শেষদিকের একটি ধাপে জলীয় দ্রবণ থেকে ইথার অথবা অন্য কোনো জৈব দ্রাবক দ্বারা ইউরানাইল নাইট্রেট $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_n$ নিষ্কাশন করা হয়। একে UF_4 এ পরিণত করা হয় এবং শেষ ধাপে Ca অথবা Mg এর সাথে বিক্রিয়া করে ধাতব ইউরেনিয়াম প্রস্তুত করা হয়।



অক্সাইডসমূহ (oxides) : U—O সিস্টেমটি অতি জটিল। প্রধান অক্সাইডগুলি হলো কমলা-হলুদ UO_3 , কাল U_3O_8 এবং বাদামি UO_2 । $[\text{UO}_2]^{2+}$ দ্রবণে NH_4OH যোগ করে হাইড্রাস অক্সাইড $\text{UO}_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ পাওয়া যায় এবং একে উত্তপ্ত করে ইউরেনিয়াম ট্রাইঅক্সাইড UO_3 পাওয়া যায়। অন্য অক্সাইডগুলি নিচের বিক্রিয়া অনুসারে পাওয়া যায় :



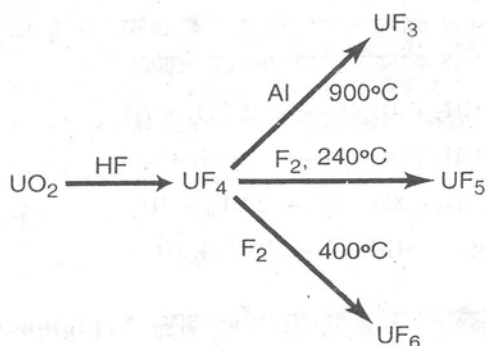
সব অক্সাইড HNO_3 এ দ্রবীভূত হয়ে ইউরানাইল নাইট্রেট, $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot (\text{H}_2\text{O})_n$ কেলাস উৎপন্ন করে।

হ্যালাইডসমূহ (Halides) : ইউরেনিয়াম হ্যালাইডগুলি ৫.৪ নং সারণিতে দেখানো হয়েছে।

সারণি ৫.৪ : ইউরেনিয়ামের কতিপয় হ্যালাইড যৌগ।

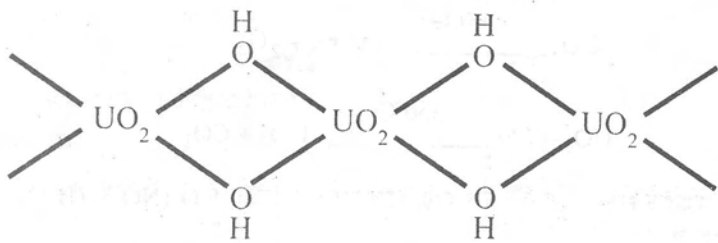
জারণ অবস্থা	ফ্লোরাইড	ক্লোরাইড	ব্রোমাইড	আয়োডাইড
+3	UF_3 সবুজ	UCl_3 লাল	UBr_3 লাল	UI_3 কাল
+4	UF_4 সবুজ	UCl_4 সবুজ	UBr_4 বাদামি	UF_4 কাল
+5	UF_5 সাদা-নিল	U_2Cl_{10} লাল-বাদামি		
+6	UF_6 সাদা	UCl_6 কাল		

ফ্লোরাইডগুলির কতিপয় বিক্রিয়া নিচে দেয়া হলো :



UF_6 এবং UCl_6 অষ্টতলকীয় যৌগ কিন্তু সব হ্যালাইডগুলি পলিমার হিসেবে অবস্থান করে, এদের সন্নিবেশ সংখ্যাও অতি উচ্চ। সবগুলি হ্যালাইড পানি দ্বারা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। হেক্সাহ্যালাইডগুলি তীব্র এসিড দ্রবণে দ্রবীভূত হয় এবং UO_2^{2+} আয়ন দেয়। উচ্চ তাপে এটি এটি আর্দ্র বিশ্লেষণ এবং পলিমারকরণ বিক্রিয়ার মাধ্যমে নিচের যৌগটি সৃষ্টি করে :

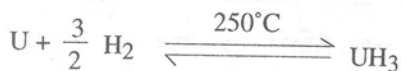




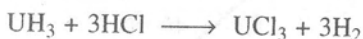
UF₆-কে বর্ণহীন কেলাস হিসেবে পাওয়া যায়, গলনাংক 64°C। এটি একটি তীব্র ফ্লোরিন দাতা বিকারক এবং পানি দ্বারা দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়। UF₅ দ্রুত অসামঞ্জস্যকরণ বিক্রিয়ার মাধ্যমে UF₄ এবং UF₆ গঠন করে। টেট্রাহ্যালাইডগুলি সবচেয়ে বেশি সুস্থিত।

UF₃-কে হেক্সাক্লোরোপ্রোপিনসহ রিফ্লাক্স করলে ইউরেনিয়াম টেট্রাক্লোরাইড পাওয়া যায়। এটি পানি এবং পোলার জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। UCl₄ এর সাথে Cl₂ বিক্রিয়া করে U₂Cl₁₀ দেয় এবং নিয়ন্ত্রিত অবস্থার বিক্রিয়ায় UCl₆ দেয়।

হাইড্রাইডসমূহ (Hydrides) : 250°C তাপমাত্রায় হাইড্রোজেনের সাথে ইউরেনিয়াম বিক্রিয়া করে কৃষ্ণ বর্ণের UH₃ দেয় :

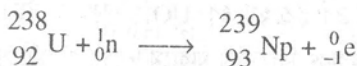


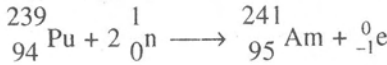
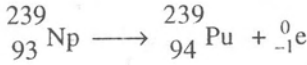
ইউরেনিয়ামের বিভিন্ন যৌগ প্রস্তুতের জন্য ইউরেনিয়াম ধাতু অপেক্ষা UH₃ ব্যবহার করা সুবিধাজনক। নিচে কয়েকটি বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে।



নেপচুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং আমেরিসিয়াম (Neptunium, plutonium and americium)

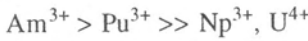
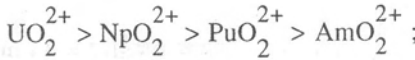
নিউক্লীয় চুল্লিতে ইউরেনিয়ামের উপর নিউট্রনের বিক্রিয়ায় নেপচুনিয়াম, প্লুটোনিয়াম এবং আমেরিসিয়াম পাওয়া যায়।





U থেকে Np, Pu এবং Am এর পৃথকীকরণ নিম্নবর্ণিত রসায়নের উপর নির্ভরশীল :

(১) জারণ অবস্থার সুস্থিতি : প্রধান আয়নগুলির সুস্থিতির অনুক্রম —



অতএব সুবিধাজনক জারক অথবা বিজারক পদার্থ ব্যবহার করে আয়নগুলিকে দ্রবণে বিভিন্ন জারণ অবস্থায় পাওয়া যায়। দ্রাবক নিষ্কাশন অথবা অধঃক্ষেপণ করে এদেরকে পৃথক করা যায়। উদাহরণ হিসেবে, Pu-কে PuO_2^{2+} এ জারিত করা যায় যখন Am, Am^{3+} হিসেবে থেকে যায়। PuO_2^{2+} কে দ্রাবক নিষ্কাশন করে মুক্ত করা যায় অথবা Am^{3+} -কে অধঃক্ষেপণ করে পৃথক করা যায়।

(২) জৈব দ্রাবকে নিষ্কাশন যোগ্যতা : MO_2^{2+} আয়নগুলি নাইট্রেট দ্রবণ থেকে ইথারে নিষ্কাশন করা যায়। M^{4+} আয়নগুলি 6M HNO_3 দ্রবণ থেকে কেরোসিনে ট্রাইবিউটাইল ফসফেট দ্বারা নিষ্কাশিত হয়; M^{3+} আয়নগুলিকে 10–16M HNO_3 দ্রবণ থেকে একই পদ্ধতিতে নিষ্কাশন করা যায় ; প্রতিবেশি অ্যাক্টিনাইডগুলিকে সুবিধাজনক অবস্থা বেছে নিয়ে পৃথক করা যায়।

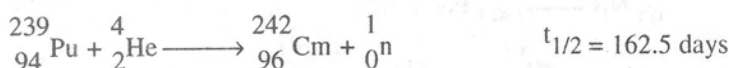
(৩) অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া : এসিড দ্রবণ থেকে কেবল M^{3+} এবং M^{4+} আয়নগুলি অদ্রবণীয় ফ্লোরাইড অথবা ফসফেট গঠন করে। উচ্চ জারণ অবস্থাতে হয় কোনো অধঃক্ষেপ গঠিত হয় না অথবা সালফেট বা অন্য কোনো আয়ন দ্বারা জটিল গঠন করে এদের অধঃক্ষেপ সৃষ্টিতে বাঁধা দেয়।

(৪) আয়ন বিনিময় পদ্ধতি : খুব অল্প পরিমাণ পদার্থকে আয়ন বিনিময় পদ্ধতিতে পৃথক করা যায়, যেমন : Am এবং পরবর্তী মৌলগুলিকে এভাবে পৃথক করা যায়।

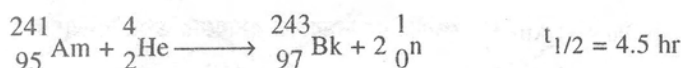
আমেরিসিয়ামের পরবর্তী অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহ (Actinide elements after americium)

আমেরিসিয়ামের পরবর্তী অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলি সম্পর্কে খুব বেশি তথ্য জানা যায় না। এ মৌলগুলির মধ্যে কেবল কুরিয়ামকে 100g স্কেলে প্রস্তুত করা যায়। অবশিষ্টগুলি অতি অল্প পরিমাণে (মিলিগ্রাম স্কেলে) তৈরি করা যায় এবং সবগুলি খুবই অস্থায়ী।

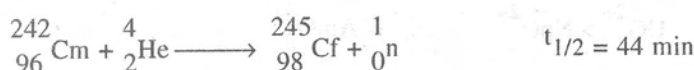
কুরিয়াম :



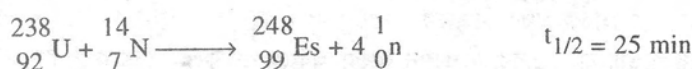
বাকেলিয়াম :



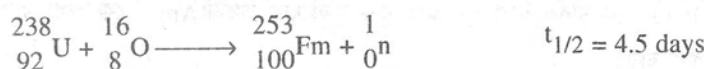
কালিফোর্নিয়াম :



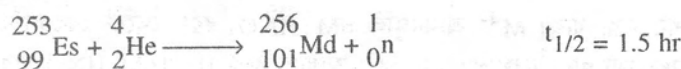
আইনস্টিনিয়াম :



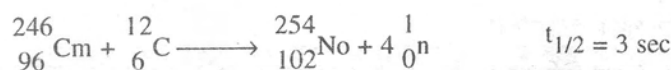
ফার্মিয়াম :



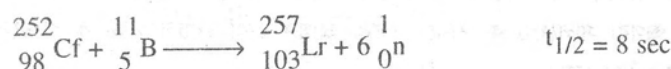
মেন্ডেলিভিয়াম :



নোবেলিয়াম :



লরেনসিয়াম :



এ মৌলগুলি ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলির সাথে যথেষ্ট সাদৃশ্য দেখায়। দুটি সিরিজের সাদৃশ্য সত্ত্বেও অ্যাক্টিনাইডগুলিকে ল্যাঙ্ঘানাইড মৌলগুলি থেকে সহজে পৃথক করা যায়। এর কারণ হলো অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলি ল্যাঙ্ঘানাইডগুলির তুলনায় সহজে জটিল গঠন করে। উদাহরণস্বরূপ, ঘন HCl এর সাথে অ্যাক্টিনাইডগুলি ক্লোরোজটিল গঠন করে। যদি উভয় গ্রুপের আয়নগুলিকে একটি ক্যাটায়ন বিনিময়কারী রেজিনে শোষিত করা হয়, অ্যাক্টিনাইডগুলিকে HCl দ্বারা ইলিউশন পদ্ধতিতে পৃথক করা যায়। অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলিকে সাইট্রেট দ্রবণ দ্বারা ইলিউশন করে নিজেদের মধ্য থেকে পৃথক করা যায়। ল্যাঙ্ঘানাইড আয়নগুলি নিজেদের মধ্যে যে অনুক্রমে আয়ন বিনিময় পদ্ধতিতে পৃথক হয় অ্যাক্টিনাইড আয়নগুলিও সেই একই অনুক্রমে পৃথক হয়।

নোবেলিয়াম বাদে 96-103 পর্যন্ত সবগুলি মৌলের সবচেয়ে সুস্থিত জারণ অবস্থা হলো +3, নোবেলিয়ামের সুস্থিত জারণ অবস্থা +2। f^{14} ইলেকট্রন বিন্যাস থাকার কারণে নোবেলিয়ামের ক্ষেত্রে এরূপ হয়। লরেনসিয়াম বাদে সবগুলি অ্যাক্টিনাইড মৌলের একাধিক জারণ অবস্থা থাকে, লরেনসিয়াম কেবল +3 জারণ অবস্থা দেখায়।

প্রথম তিনটি মৌল কুরিয়াম, বার্কেলিয়াম এবং কালিফোর্নিয়াম মাত্র মিলিগ্রাম স্কেলে প্রস্তুত করা সম্ভব। সাধারণ পদ্ধতিতে এদের রসায়ন পরীক্ষা করা হয়েছে এবং এদের যৌগ প্রস্তুত করা হয়েছে। অবশিষ্ট মৌলগুলিকে তেজস্ক্রিয় ট্রেসার (tracer) পদ্ধতিতে পরীক্ষা করা হয়েছে কারণ এদেরকে অতি সামান্য পরিমাণে প্রস্তুত করা সম্ভব। পারমাণবিক সংখ্যা বাড়ার সাথে মৌলগুলির অর্ধায়ু ক্রমশ কমতে থাকে। নোবেলিয়ামের অর্ধায়ু মাত্র 3 sec এবং লরেনসিয়ামের অর্ধায়ু মাত্র 8 sec।

প্রশ্নমালা

- ১। কোন মৌলগুলিকে অ্যাক্টিনাইড মৌল বলা হয়। এদের প্রতীক এবং ইলেকট্রন বিন্যাস লিখ।
- ২। অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহের জারণ অবস্থা সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা কর।
- ৩। UO_2 (NO_3)₂ (H_2O)₂ এবং $Na[UO_2(CH_3COO)_3]$ এর আণবিক কাঠামো একে দেখাও।
- ৪। ইউরেনিয়াম থেকে আইস্টেনিয়াম এবং ফার্মেনিয়াম প্রস্তুতির নিউক্লীয় বিক্রিয়ার সমীকরণ দাও।
- ৫। ইউরেনিয়াম থেকে নেপচুনিয়াম কিভাবে গঠিত হয়?
- ৬। প্লুটোনিয়াম থেকে কিভাবে কুরিয়াম গঠিত হয়?
- ৭। কুরিয়াম থেকে কিভাবে নোবেলিয়াম প্রস্তুত করা যায়?
- ৮। $[Th(NO_3)_6]^{2-}$ আয়নে থোরিয়ামের সন্নিবেশ সংখ্যা কত?
- ৯। ইউরেনিয়াম থেকে নিউক্লীয় চুল্লিতে কিভাবে আমেরিসিয়াম গঠিত হয়?
- ১০। ইউরেনিয়াম থেকে ফার্মেনিয়াম কিভাবে প্রস্তুত করা যায়? এর অর্ধায়ু কত?
- ১১। নোবেলিয়াম প্রস্তুতের জন্য একটি নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ার সমীকরণ লিখ। নোবেলিয়ামের অর্ধায়ু কত?
- ১২। কালিফোর্নিয়াম থেকে কিভাবে লরেনসিয়াম প্রস্তুত করা যায়? এ মৌলটির অর্ধায়ু কত?

- ১৩। UO_2 থেকে কিভাবে UF_3 , UF_5 এবং UF_6 প্রস্তুত করা যায় ?
- ১৪। কোন অ্যাক্টিনাইড মৌলটির +3 জারণ অবস্থায় অর্ধপূর্ণ 5f উপস্তর থাকে ? এর পূর্ববর্তী এবং পরবর্তী মৌল দুটির জারণ সংখ্যা কত হয় ?
- ১৫। কোন অ্যাক্টিনাইড মৌলটি লিউটিসিয়ামের অনুরূপ ?
- ১৬। থেরিয়াম এবং ইউরেনিয়ামের প্রধান উৎসগুলি কি কি ?
- ১৭। ইউরেনিয়াম হাইড্রাইড কিভাবে প্রস্তুত করা যায় ? এর প্রধান ব্যবহারগুলি উল্লেখ কর।
- ১৮। UF_6 এর প্রস্তুতি এবং ব্যবহারসমূহ উল্লেখ কর।
- ১৯। ইউরেনিয়াম থেকে Np, Pu এবং Am কিভাবে পৃথক করা যায় ?
- ২০। ইউরেনিয়ামকে সাধারণত ইউরেনিয়াম নাইট্রেট হিসেবে পাওয়া যায়। কিভাবে একে ধাতুতে পরিণত করা যায় ?

গ্রন্থপঞ্জি

1. N. N. Greenwood and A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*, Pergamon Press, 1989.
2. F. A. Cotton and G. Wilkinson, *Advanced Inorganic Chemistry*, 4th ed., John Wiley & Sons, 1980.
3. F. A. Cotton, G. Wilkinson and P. L. Gaus, *Basic Inorganic Chemistry*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1995.
4. J. D. Lee, *Concise Inorganic Chemistry*, 4th ed., ELBS, 1995.
5. G. F. Liptrot, *Modern Inorganic Chemistry*, 4th ed., ELBS, 1990.
6. A. G. Sharpe, *Inorganic Chemistry*, ELBS, 1984.
7. S. Z. Haider, *Introduction to Modern Inorganic Chemistry*, Friends International, Dhaka, 1994.

BANSDC
Library
Accession No. 18025



নির্ঘণ্ট

অধঃক্ষেপণ পদ্ধতি ৯৭	দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি ৯৮
আয়রন মৌল ৩০	দ্রাব্যতা ১০৪
আয়রনের যৌগসমূহ ৩৩	ধাতব প্রকৃতি ৫
আংশিক কেলাসন পদ্ধতি ৯৮	ধাতুসমূহ ১২১
আয়ন বিনিময় পদ্ধতি ৯৯	নায়োবিয়াম এবং ট্যানটালাম ৬০
অ্যাক্টিনাইডসমূহের সাধারণ রসায়ন ১২০	নিকেল মৌল ৪৩
অ্যাক্টিনিয়াম ১২১	নিকেলের যৌগসমূহ ৪৪
ইট্রিয়াম এবং ল্যান্থানাম ৫৫	পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা ৭
ইলেকট্রন বিন্যাস ৯৩	প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম ১২
ইউরেনিয়াম ১২২	প্রভাবক হিসেবে ধর্ম ১৩
কপার মৌল ৪৭	প্লাটিনাম ধাতুসমূহ ৭৩
কপারের যৌগসমূহ ৪৮	প্যালাডিয়াম এবং প্লাটিনাম ৮০
কোবাল্ট মৌল ৩৯	বর্ণ ৯
কোবাল্টের যৌগসমূহ ৩৯	বর্ণ এবং বর্ণালি ১০৪
ক্রোমিয়াম মৌল ২১	ভ্যানাডিয়াম মৌল ১৯
ক্রোমিয়ামের যৌগসমূহ ২২	ভ্যানাডিয়াম যৌগসমূহ ২০
গোল্ডের যৌগসমূহ ৮৯	মলিবডিনাম এবং টাংস্টেন ৬৩
চার সম্মিলিত সংখ্যার জটিল যৌগ ৪৫	ম্যাংগানিজ মৌল ২৭
চৌম্বক ধর্ম ১০৬	ম্যাংগানিজের জারণ অবস্থাসমূহ ২৭
ছয় সম্মিলিত সংখ্যার জটিল যৌগ ৪৫	ম্যাংগানিজ যৌগসমূহ ২৮
জটিল যৌগ গঠন ১০	মৌলসমূহের উৎস এবং ধর্ম ১১৮
জারণ অবস্থা ৯৫	যোজ্যতা পরিবর্তন পদ্ধতি ৯৯
জার্কোনিয়াম এবং হাফনিয়াম ৫৬	রুথিনিয়াম এবং অসমিয়াম ৭৪
টিটানিয়াম মৌল ১৮	রোহডিয়াম এবং ইরিডিয়াম ৭৬
টিটানিয়ামের যৌগসমূহ ১৮	স্ক্যানডিয়াম মৌল ১৭
টেকনিসিয়াম এবং রিনিয়াম ৬৮	স্ক্যানডিয়ামের যৌগসমূহ ১৭
থোরিয়াম ১২১	সিলভার এবং গোল্ড ৮৭

