पाठ 19

संक्रमण तत्वों के सामान्य अभिलक्षण

19.1 भूमिका

आवर्ती वर्गीकरण के पाठ में आप पढ़ चुके हैं कि आवर्त सारणी का प्रत्येक आवर्तक ns उपकोश के पूरण से आरंभ होता है और np उपकोश के पूरण के साथ समाप्त होता है (n मुख्य क्वांटम संख्या और आवर्तक की संख्या है) आवर्त सारणी का दीर्घ रूप ऑफबाऊ सिद्धांत के अनुसार बढ़ते ऊर्जा क्रम में विभिन्न स्तरों में इलेकट्रानों के पूरण पर आधारित है। चौथे आवर्तक में, चौथे कोश का पूरण पोटैशियम में (परमाणु क्रमांक 19) s उपकोश के पूरण से आरंभ होता है। इसके बाद क्रमशः 3d और 4p उपकोश का पूरण होता है। पहली बार हम तत्वों के ऐसे वर्ग के संपर्क में आते हैं। जिसमें पूरित हो रही क्वांटम संख्या के दूसरे उपकोश के बजाय पिछली मुख्य क्वांटम संख्या का उपकोश पूरित होने लगता है। तत्वों के 4s और 4p खंडों के बीच पाए जाने वाले तत्वों के इस वर्ग को 3d खंड अथवा प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्व कहते हैं। इस पाठ में आज संक्रमण तत्वों का विस्तृत अध्ययन करेंगे।

19.2 उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के बाद आप,

- संक्रमण तत्वों के सामान्य अभिलक्षणों की सूची बना सकेंगे,
- 3d श्रेणी के संक्रमण तत्वों का इलेक्ट्रानी विन्यास लिख सकेंगे,
- प्रथम संक्रमण श्रेणी और उनके यौगिकों की परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाओं, चुम्बकीय गुणधर्मों, आयनों, यौगिकों का रंग और उत्प्रेरकी गुणधर्मों की व्याख्या कर सकेंगे, और
- संक्रमण धातु आयनों द्वारा उपसहसंयोजी संकुलों के निर्माण की व्याख्या कर सकेंगे।

19.3 संक्रमण तत्वों की अधिक जानकारी

> **संक्रमण तत्वों की परिभाषा इस प्रकार दी जाती है: संक्रमण तत्व उन तत्वों को कहते हैं जिनके परमाणुओं अथवा आयनों में तत्व रूप में (ऑक्सीकरण अंक शून्य) अथवा संयुक्त रूप में उनकी किसी सर्वनिष्ठ ऑक्सीकरण अवस्था में अंशतः पूरित d उपकोश होते हैं।**

चार संक्रमण श्रेणियां हैं। पहली संक्रमण श्रेणी स्कैंडियम (परमाणु क्रमांक 21) पर आरंभ होती है और ताम्र (परमाणु क्रमांक 29) पर समाप्त होती है जबकि दूसरी, तीसरी और चौथी श्रेणियां क्रमशः इट्रियम (परमाणु क्रमांक 39) लैंथेनम (परमाणु क्रमांक 57) और ऐक्टिनियम (परमाणु क्रमांक 89 पर आरंभ होती है तथा क्रमशः रजत (परमाणु, क्रमांक 47) स्वर्ण (परमाणु क्रमांक 79) और परमाणु क्रमांक 111 वाले तत्व (जिसका संश्लेषण अभी नहीं हुआ है) पर समाप्त होती हैं। इन श्रेणियों को क्रमशः 3d, 4d, 5d और 6d श्रेणियां भी कहते हैं। उल्लेखनीय है कि यद्यपि तत्व ताम्र, रजत और स्वर्ण तथा साथ ही Cu^{1+}, Ag^{1+} और Au^{1+} का d^{10} विन्यास है किन्तु Cu^{2+}, का $3d^9$, Ag^{2+} का $4d^9$ और Au^{3+} का $5d^8$ विन्यास है। यही कारण है कि इन तत्वों का संक्रमण तत्वों के रूप में वर्गीकरण किया जाता है। दूसरी ओर यशद, कैडमियम और पारद की न तो तत्व अवस्था में और न उनके किसी यौगिक अथवा आयन में अंशतः पूरति d-उपकोश होते हैं। इसलिए ये तत्व संक्रमण तत्व अथवा d-खंड तत्व नहीं हैं। किन्तु चर्चा के लिए d-खंड तत्वों के साथ यशद, कैडमियम और पारद पर भी विचार किया जाता है।

> **d-खंड तत्व वे तत्व हैं जिनमें d-उपकोश अंशतः पूरित रहता है अर्थात् आगन्तुक अंतिम इलेक्ट्रान d-उपकोश में प्रवेश करता है।**

19.4 सामान्य अभिलक्षण

19.4.1 भौतिक गुणधर्म

प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्व अर्थात 3d खंड तत्व, धातुएं हैं। इन सभी धातुओं के उच्च घनत्व, तनन सामर्थ्य, तन्यता और आघातवर्ध्यता, उच्च ऊष्मीय और विद्युत् चालकताएं, उच्च गलनांक और क्वथनांक होते हैं। लगभग ये सभी धातुएं सामान्य रूप में क्रिस्टलित होती हैं (सारणी 19.1)। ये गुणधर्म बतलाते हैं, कि इन तत्वों के परमाणु, प्रबल धात्विक आबंधों द्वारा परस्पर संबद्ध रहते हैं। जो गलित अवस्था में भी विद्यमान रहते हैं। प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्वों के कुछ गुणधर्म सारणी-19.1 में दिए गए हैं।

सारणी 19.1 कुछ संक्रमण तत्वों के गुणधर्म

तत्व प्रतीक	Z	क्रिस्टल रूप	गलनांक °C	घनत्व g/cm^{-3}	परमाणु त्रिज्या (Å)
स्कैंडियम (SC)	21	fcc	1541	2.989	1.44
टाइटेनियम (Ti)	22	hcp	1660	4.54	1.32
वैनेडियम (V)	23	bcc	1890	6.11	1.22
क्रोमियम (Cr)	24	bcc	1857	7.18	1.17
मैंगनीज (Mn)	25	bcc	1245	7.44	1.17
लोहा (Fe)	26	bcc	1535	7.87	1.16
कोबाल्ट (Co)	27	fcc	1495	8.90	1.16
निकैल (Ni)	28	fcc	1453	8.90	1.15
ताम्र (Cu)	29	fcc	1083	8.96	1.17

Z परमाणु क्रमांक है

bcc काय केन्द्रित घनीय, fcc फलक केन्द्रित घनीय, hcp षट्कोण सुसंकुलित

19.4.2 मिश्रातु और अंतराकाशी यौगिक रचना

सारणी 19.1 में हम देख सकते हैं कि प्रथम संक्रमण श्रेणी के धातुओं के परमाणु आमाप एक-दूसरे के बहुत समीप हैं। इस प्रकार क्रिस्टल जालक में इन तत्वों में कोई भी तत्व समान-आमाप के दूसरे तत्व को आसानी से प्रतिस्थापित कर सकता है। जिससे ठोस विलयन और चिकना मिश्रातु प्राप्त होते हैं। इस प्रकार संक्रमण तत्व अनेक मिश्रातु बनाते हैं। क्रोमियम, वैनेडियम और मैंगनीज का उपयोग मिश्रातु इस्पातों और जंगरोधी इस्पात को बनाने में किया जाता है। तांबों का उपयोग पीतल, कांसा आदि मिश्रातुओं को बनाने में किया जाता है। इसके अलावा संक्रमण तत्व अनेक अंतराकाशी यौगिक भी बनाते हैं। जिनमें वे हाइड्रोजन कार्बन, नाइट्रोजन आदि कम आमाप के परमाणुओं का उपयोग किया जाता है। ये उनके जालकों के रिक्त स्थानों में स्थित रहते हैं और उनमें मज़बूती से आबद्ध रहते हैं। इस प्रकार प्राप्त उत्पाद कठोर और दृढ़ होते हैं। उदाहरण के लिए इस्पात और ढलवा लोहे के कठोर होने का कारण यह है कि कार्बन के साथ अंतराकाशी यौगिक बनाते हैं। ऐसे यौगिकों में आघातवर्ध्यता और तन्यता में किंचित कमी हो सकती है किन्तु लगिष्णुता में बहुत वृद्धि हो जाती है।

19.4.3 इलेक्ट्रानी विन्यास

आवर्त सारणी में संक्रमण तत्वों की स्थिति का कारण उनके उपांतिम कक्षकों अर्थात् भीतरी कक्षकों का विलंबित पूरण है, आप पढ़ चुके हैं कि कक्षकों का पूरण उनके बढ़ते ऊर्जा क्रम में होता है। यद्यपि उच्च मुख्य क्वांटम संख्या (उच्च n मान) वाले कोशों की अपेक्षा निम्न मुख्य क्वांटम संख्या (निम्न n मान) की

ऊर्जा कम होती है किन्तु निम्न दिशांगी क्वांटम संख्या (निम्न l मान) और उच्च मुख्य क्वांटम संख्या (उच्च n मान) वाले उपकोश की अपेक्षा उच्च l मान और निम्न n मान वाले उपकोश की ऊर्जा अधिक होती है। यह देखा जा सकता है कि कक्षकों की आपेक्षिक ऊर्जाएं एकसमान रूप से नहीं बदलती हैं। यहां तक कि परमाणु क्रमांकों के कुछ मानों पर क्रम उलट भी जाता है जैसाकि तत्वों की प्रथम संक्रमण श्रेणी के लिए चित्र 19.1 में दिखाया गया है। संक्रमण तत्वों का सामान्य इलेक्ट्रानी विन्यास $(n-1)d^1$ से 10 nsसे 2 होता है।

पाठगत प्रश्न 19.1

1. 'संक्रमण तत्व' शब्द की परिभाषा लिखिए।

    ....

2. प्रथम संक्रमण श्रेणी में कितने तत्व हैं ? उनके नाम बताइए।

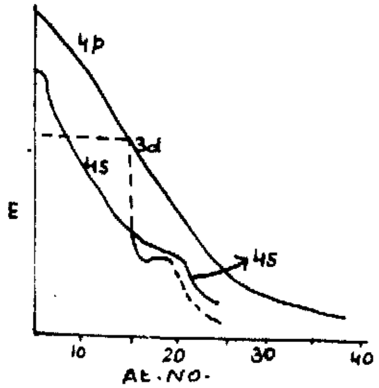
    ....

3. ताम्र, रजत और स्वर्ग संक्रमण तत्व है किन्तु यशद कैडमियम और पारद संक्रमण तत्वों में शामिल नहीं किए जाते हैं। स्पष्ट रूप से बताइए क्यों ?

    ....

4. निम्नलिखित तत्वों में कौन संक्रमण तत्व हैं। अपने उत्तर के समर्थन में कारण दीजिए। ताम्र (29), रजत (47), यशद (30), स्वर्ण (79) ऐलुमिनियम (13), कैडमियम (49)।

    ....



चित्र 19.1

19.4.4 संक्रमण तत्वों का पूरण

चित्र 19.1 में देखा जा सकता है कि पोटेशियम (परमाणु क्रमांक 19) तक 3d कक्षकों ($l = 2$ और $n = 3$) की अपेक्षा 4s कक्षकों ($l = 0$ और $n = 4$) की ऊर्जा कम होती है। कैल्सियम (परमाणु क्रमांक 20) में इन दोनों कक्षकों की ऊर्जा लगभग समान होती है। किन्तु नाभिकीय आवेश के ज्यादा बढ़ने पर 3d कक्षकों की ऊर्जा कम हो जाती है और स्कैंडियम (परमाणु क्रमांक 21) में 4s और इसलिए 4p से भी

कम हो जाती है। इस परमाणु क्रमांक 19 और 20 पर 4s कक्षक के क्रमशः दो इलेक्ट्रानों से पूरित हो जाने के बाद अगला आगन्तुक इलेक्ट्रान 4p की अपेक्षा 3d कक्षक में जाता है। क्योंकि बाद वाले की ऊर्जा, पहले से, कम होती है। इस का अर्थ यह है कि 21वां इलेक्ट्रॉन बाह्यतम स्तर (n = 4) में प्रवेश कर अधःस्थ मुख्य क्वांटम स्तर (n = 3) में प्रवेश करता है। इस प्रकार पोटैशियम (परमाणु क्रमांक 19) पर पूरण आरंभ होता है जो चौथे आवर्तक का पहला तत्व है। कैल्सियम के बाद आगामी 9 तत्वों में आगन्तुक इलेक्ट्रॉन d उपकोश में पूरित होता है और 4s उपकोश का विन्यास प्रायः अपरिवर्तित रहता है। क्योंकि अर्धपूरित और पूर्णतया पूरित उपकोश उस उपकोश के अपेक्षा स्थाई होते हैं जिसमें एक इलेक्ट्रान कम होता है। अतः परमाणु क्रमांक 24 और परमाणु क्रमांक 29 वाले तत्वों में एक इलेक्ट्रान का 4s से 3d में उन्नयन हो जाता है। फलस्वरूप क्रोमियम और ताम्र के विन्यासों में केवल एक 4s इलेक्ट्रान होता है। प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्वों के इलेक्ट्रानी विन्यास सारणी 19.2 में दिए गए हैं।

सारणी 19.2 : कुछ संक्रमण तत्वों के इलेक्ट्रानी विन्यास

तत्व	प्रतीक	Z	इलेक्ट्रानी विन्यास
स्कैंडियम	SC	21	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^1\,4s^2$
टाइटेनियम	Ti	22	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^2\,4s^2$
वैनेडियम	V	23	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^3\,4s^2$
क्रोमियम	Cr	24	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^5\,4s^1$
मैंग्नीज	Mn	25	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^5\,4s^2$
लोहा	Fe	26	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^6\,4s^2$
कोबाल्ट	Co	27	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^7\,4s^2$
निकैल	Ni	28	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^8\,4s^2$
ताम्र	Cu	29	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^1$
यशद	Zn	30	$1s^2\,2s^2\,2p^6\,3s^2\,3p^6\,3d^{10}\,4s^2$

हम देखते हैं कि यशद में 30वां इलेक्ट्रांन 3d स्तर में न जाकर 4s स्तर में जाता है क्योंकि 3d ताम्र में पहले से पूरित है। इस प्रकार परिभाषा के अनुसार यशद को d खंड श्रेणी का सदस्य नहीं कहा जा सकता है। इसके अलावा यशद का कोई भी यौगिक ज्ञात नहीं है। जिसमें अंशतः पूरित d-उपकोश हो, अतः वह भी संक्रमण तत्व की परिभाषा में नहीं आता है। इसलिए यह ठीक ही है कि यशद को संक्रमण तत्व अथवा d-खंड तत्व नहीं कहा जा सकता है। अपितु सुविधा के लिए यशद और वर्ग 12 के अन्य सदस्यों, कैडमियम और पारद, की चर्चा 3d, 4d और 5d संक्रमण तत्वों के साथ की जाती है।

यहां पर संक्रमण तत्वों के आयनन प्रक्रम (अर्थात् ऑक्सीकरण) को समझना आवश्यक है। कक्षकों के पूरण के बारे में ऊपर जो कुछ कहा गया है, उससे यह निष्कर्ष निकलता है कि आयनन के समय इलेक्ट्रानों का लोप पहले (n -1) d उपकोश से होगा और फिर 4s स्तर से। किन्तु वास्तव में ऐसा नहीं

होता है। अनुमानित व्यवहार से विचलन का कारण यह है कि जब स्कैंडियम (परमाणु क्रमांक 21) पर 3d उपकोश का पूरण आरंभ होता है तो ऊर्जा कम हो जाती है और 4s उपकोश की ऊर्जा से भी कम हो जाती है। फलस्वरूप आयनन पर प्रथम पंक्ति संक्रमण तत्वों में पहले 4s उपकोश से इलेक्ट्रान निकलते हैं और उसके बाद 3d स्तर से। किन्तु कुछ उदाहरणों में, जैसे स्कैंडियम में, 18 इलेक्ट्रानों की क्रोड के बाद सब इलेक्ट्रान एक ही बार में निकल जाते हैं। उल्लेखनीय है कि यद्यपि 4s कक्षकों की अपेक्षा 3d कक्षकों की ऊर्जा अधिक होती है (जैसा कि पूरण-क्रम से स्पष्ट है) किन्तु अंतर इतना कम होता है कि उन्हें लगभग समान ऊर्जा का माना जाता है।

19.4.5 परिवर्ती आक्सीकरण अवस्थाएं

s-खंड, d-खंड और f-खंड तत्व धनात्मक ऑक्सीकरण अवस्था प्रदर्शित करते हैं (H को छोड़कर जो −1 ऑक्सीकरण अवस्था भी प्रदर्शित करता है) जबकि अधिकांश p-खंड तत्व + त्मक और −. त्मक ऑक्सीकरण दोनों अवस्थाएं प्रदर्शित करते हैं। किसी विद्युत धनात्मक तत्व द्वारा आबंधन के लिए प्रयुक्त इलेक्ट्रानों की संख्या उसकी धनात्मक ऑक्सीकरण अवस्था के बराबर होती है। d-खंड तत्वों का अभिलक्षणिक गुणधर्म यह है कि वे अपने यौगिकों में उनके आक्सीकरण अवस्थाएं प्रदर्शित कर सकते हैं। उसका कारण यह है कि वे आबंधन के लिए ns इलेक्ट्रानों के साथ-साथ वे आंतरिक (n - 1) d इलेक्ट्रानों का उपयोग भी कर सकते हैं। क्योंकि इन दोनों की ऊर्जाओं में बहुत कम अंतर होता है। इस प्रकार आबंधन में शामिल इलेक्ट्रानों की संख्या के अनुसार भिन्न आक्सीकरण अवस्थाएं प्राप्त होती है। निम्नतम आक्सीकरण अवस्था, विद्यमान s-इलेक्ट्रानों की संख्या के बराबर होती है (sc को छोड़कर)। उदाहरण के लिए ताम्र का इलेक्ट्रानी विन्यास $3d^{10} 4s^1$ है। तथा वह +2 सामान्य आक्सीकरण अवस्था के अतिरिक्त +1 आक्सीकरण अवस्था भी प्रदर्शित करता है। फ्लुओरीन अथवा ऑक्सीजन के साथ संयोजन में उच्चतम आक्सीकरण अवस्थाएं दृष्टिगोचर होती है जो क्रमशः विद्युत ऋणात्मक तत्व हैं। प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्वों की विभिन्न आक्सीकरण अवस्थाएं नीचे दी गई हैं।

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn*
+3	(+2)	+2	+2	+2	(+1)	(+1)	(+1)	+1	(+1)
	+3	+3	+3	(+3)	+2	+2	+2	+2	+2
	+4	+4	+4	+4	+3	+2	(+3)	(+3)	
		+5	(+5)	(+6)	+6	(+4)	(+4)		
			+6	+7					

(* केवल तुलना के लिए दिया गया है)

विरल ऑक्सीकरण अवस्थाएं कोष्ठक में दी गई हैं। उपर्युक्त सामान्य ऑक्सीकरण अवस्थाओं की जांच करने से निम्नलिखित तथ्य सामने आते हैं :

स्कैंडियम को छोड़कर सर्वनिष्ठ ऑक्सीकरण अवस्था +2 है जो 4s इलेक्ट्रानों में से दो की हानि से प्राप्त होती है। इसका अर्थ यह हुआ कि स्कैंडियम के बाद s-कक्षक की अपेक्षा d-कक्षक अधिक स्थायी होते हैं। जिन यौगिकों में +2 और +3 ऑक्सीकरण अवस्थाओं वाले तत्व होतें हैं उनके आयनी आबंध होते हैं। जबकि इनसे अधिक आक्सीकरण अवस्थाओं मुख्यतः सहसंयोजी आबंध होते हैं। उदाहरण के लिए परमैंग्नेट आयन, MnO_4^-, में मैंगनीज और ऑक्सीजन के बीच निर्मित आबंध, सहसंयोजी होते हैं। आँक्साईडों के अम्ल-क्षारक लक्षण को ध्यान में रखते-हुए यह निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि आक्सीकरण अवस्था में वृद्धि से आक्साइड के क्षारकीय लक्षण में कमी हो जाती है। और विलोमतः। क्योंकि संक्रमण धातुएं बहु आँक्सीकरण अवस्थाएं प्रदर्शित करती हैं। अतः उच्चतर ऑक्सीकरण अवस्थाओं में उनके यौगिक प्रबल आँक्सीकारक होते हैं। क्योंकि उनकी प्रवृत्ति इलेक्ट्रानों को ग्रहण कर निम्न स्थायी अवस्थाएं प्राप्त करने की होती है।

संक्रमण धातुएं, +1 आदि निम्न आक्सीकरण अवस्थाओं में भी यौगिक बनाते हैं। निम्न आक्सीकरण-अवस्थाओं में संक्रमण धातुओं के यौगिकों में आबंधन सदैव सरल नहीं होता है। किसी धातु-परमाणु द्वारा अनेक आबंधों के निर्माण से केन्द्रीय परमाणु पर ऋण-आवेश संचित हो जाता है। ऐसे यौगिक अस्थायी होते हैं। किन्तु यदि गंधक आदि संयोजक परमाणुओं अथवा कार्बन मोनो आक्साइड आदि अणुओं में रिक्त कक्षक हो तो d-इलेक्ट्रान संयोजक अणुओं को दिया जा सकता है। और इस प्रकार धातु पर ऋण आवेश के संचय को रोका जा सकता है। इसका उदाहरण निकेल टेट्रा-कार्बोनिल, $Ni(Co)_4$, आयरन कार्बोनिल, $Fe(Co)_5$, क्रोमियम कार्बोनिल $Cr\,(Co)_6$ आदि कार्बोनिलों द्वारा प्रस्तुत किया जा सकता है जिसमें केन्द्रीय धातु परमाणु, शून्य आक्सीकरण अवस्था में होता है।

19.4.6 चुम्बकीय गुणधर्म

पदार्थों में दो प्रकार के चुंबकीय व्यवहार, अर्थात् प्रतिचुम्बकत्व और अनुचुम्बकत्व में कोई एक होता है। प्रयुक्त चुम्बकीय क्षेत्र, प्रतिचुम्बकीय पदार्थों का या तो प्रतिकर्षण करता है। अथवा अप्रभावित रहता है जबकि अनुचुम्बकीय पदार्थ, प्रयुक्त क्षेत्र की ओर आकर्षित होते हैं। अनुचुम्बकत्व अयुग्मित इलेक्ट्रान अथवा इलेक्ट्रानों द्वारा उत्पन्न होता है। क्योंकि संक्रमण धातु आयनों में अयुग्मित इलेक्ट्रान होते हैं अतः अनेक संक्रमण धातु यौगिक अनुचुंबकीय गुण प्रदर्शित करते हैं। लोह चुम्बकत्व एक विशेष प्रकार का अनुचुम्बकत्व होता है। जिसमें पदार्थ स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण प्राप्त कर लेता है। प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्व लोहा, कोबाल्ट और निकैल, लौह चुंबकत्व प्रदर्शित करते हैं।

चुम्बकीय व्यवहार, इलेक्ट्रानी विन्यास और आक्सीकरण अवस्था इन तीनों में निकट संबंध होता है। किसी अनु चुंबकीय पदार्थ के चुम्बकीय आघूर्ण, μ, (बोर मैग्नेटॉन में) का निम्नलिखित व्यंजक द्वारा परिकलन किया जा सकता है :

$$\mu = [n\,(n+2)]^{1/2}$$

n अयुग्मित इलेक्ट्रानों की संख्या है।

परमाणु में अथवा आयन में अथवा अणु में अयुग्मित इलेक्ट्रानों की उपस्थिति के कारण संक्रमण धातुएं और उनके अनेक यौगिक अनु चुंबकीय व्यवहार प्रदर्शित करते हैं।

चुंबकीय आघूर्ण, परमाणुओं, आयनों अथवा अणुओं में इलेक्ट्रानों की कक्षीय गतियों से उत्पन्न होता है जैसे-जैसे अयुग्मित इलेक्ट्रानों की संख्या में वृद्धि होती है चुम्बकीय अभिलक्षणें में भी वृद्धि होती है। प्रथम संक्रमण श्रेणी के कुछ आयनों के चुम्बकीय आघूर्ण सारणी 19.3 में दिए गए हैं।

सारणी 19.3 : संक्रमण तत्वों के कुछ आयनों के चुम्बकीय आघूर्ण

आयन	इलेक्ट्रानी विन्यास	अयुग्मित इलेक्ट्रानों की संख्या	परिकल्पित चुम्बकीय आघूर्ण (BM)
SC^{3+}	$3d^{o}$	0	0
Ti^{3+}	$3d^{1}$	1	1.73
Ti^{2+}	$3d^{2}$	2	2.83
V^{2+}	$3d^{3}$	3	3.87
Cr^{2+}	$3d^{4}$	4	4.90
Mn^{2+}	$3d^{5}$	5	5.92
Fe^{2+}	$3d^{6}$	4	4.90*
$C0^{2+}$	$3d^{7}$	3	3.87*
Ni^{2+}	$3d^{8}$	2	2.83
Cu^{2+}	$3d^{9}$	1	1.73

* लोह चुम्बकीय व्यवहार के कारण प्रायोगिक मान उच्च है।

जिन यौगिकों में Sc^{3+}, Ti^{4+}, V^{5+}, Cr^{6+} और Cu^{+} आयन होते हैं वे प्रतिचुम्बकीय होते हैं क्योंकि उनके आयनों में कोई अयुग्मित इलेक्ट्रान नहीं होते हैं। प्रतिचुम्बकीय पदार्थों पर अनुप्रयुक्त चुम्बकीय क्षेत्र का कोई प्रभाव नही पड़ता है। क्योंकि उनमें सभी इलेक्ट्रान युग्मित होते हैं।

19.4.7 आयनों और यौगिकों का रंग

d-खंड तत्वों के अधिकांश यौगिक रंगीन होते हैं अथवा जल में घुलने पर वे रंगीन विलयन बनाते हैं। संक्रमण तत्वों का यह गुणधर्म s-और p-खंड के तत्वों के गणुधर्म से है जो प्रायः सफेद यौगिक बनाते हैं। संक्रमण धातु यौगिकों को रंग का संबंध संक्रमण धातु के अपूर्ण (n-1)d उपकोश से होता है।

जब श्वेत प्रकाश की किसी पदार्थ के साथ क्रिया होती है तो उसका एक भाग अवशोषित हो जाता है; उदाहरण के लिए यदि लाल भाग अवशोषित होता है तो शेष भाग नीला दिखाई देता है। यह कापर सल्फेट विलयन में दृष्टिगोचर होता है। क्योंकि संक्रमण तत्वों के अधिकांश यौगिक रंगीन होते हैं। अतः ऐसे उर्जा संक्रमण होने चाहिए जो दृश्य प्रकाश की कुछ ऊर्जा का उपयोग कर सकें।

मुक्त परमाणु अथवा आयन में, सभी पांच d-कक्षकों की समान ऊर्जा होती है जिसके फलस्वरूप d-स्तर का कोई भी इलेक्ट्रान इन पांच कक्षकों में मुक्त रूप से गमन कर सकता है। किन्तु संलग्नी अथवा संयोजी ऋणायन की उपस्थिति में पांच d-कक्षकों का सम्मुच्चय भिन्न आकाशीय अभिविन्यास के कारण विभक्त हो जाता है। इन अवस्थाओं में दृश्य क्षेत्र के श्वेत प्रकाश में मौजूद ऊर्जा की अल्पमात्रा इलेक्ट्रान की निम्न स्तर से उच्च स्तर में प्रोन्नति कर देती है। यदि एक अधिक इलेक्ट्रान मौजूद हो तो उत्तेजित और अनुत्तेजित इलेक्ट्रानों के बीच अंतरा-इलेक्ट्रान प्रतिकर्षण के लिए भिन्न संक्रमण ऊर्जाओं की आवश्यकता होती है। इसके फलस्वरूप भिन्न इलेक्ट्रानी विन्यास वाले आयनों का भिन्न रंग होता है। प्रथम संक्रमण श्रेणी के जलयोजित आयनों के रंग सारणी 19.4 में दिए गए हैं।

सारणी 19.4 : कुछ संक्रमण तत्वों के जलयोजित आयनों के रंग

षट् जलयोजित आयन	d-इलेक्ट्रानों की संख्या	ठोस/विलयन का रंग
Ti^{3+}	1	बैंगनी
V^{3+}	2	नीला
V^{2+}	3	बैंगनी
Cr^{3+}	3	बैंगनी
Mn^{3+}	4	बैंगनी
Fe^{3+}	5	पीला/रंगहीन
Mn^{2+}	5	हल्का रंग
Fe^{2+}	6	फीका हरा
Co^{2+}	7	गुलाबी
Ni^{2+}	8	हरा
Cu^{2+}	9	नीला

संक्रमण धातु यौगिक प्रायः ठोस अवस्था में रंगीन होते हैं। और जल में घुलने पर रंगीन विलयन बनाते हैं। इसका कारण आंतरिक d-कक्षकों में अयुग्मित इलेक्ट्रान/इलेक्ट्रानों की उपस्थिति है।

उल्लेखनीय है कि अधिकांश संक्रमण धातु यौगिक ठोस अवस्था और विलयन दोनों में रंगीन होते हैं। इस गुणधर्म का धातु आयनों की पहचान करने और परिमापन में विस्तृत उपयोग किया गया है। इसके अलावा इलेक्ट्रान का अयुग्मित स्थिति से युग्मित स्थिति में स्थानांतरण बहुत कम होता है। इस कारण d^{5+} विन्यास वाले आयनों का बहुत हल्का रंग होता है। क्योंकि उसमें इलेक्ट्रान का निम्न स्तर से उच्च स्तर में प्रोन्नयन होता है। जहां वह युग्मित रूप में हो। क्योंकि दो स्तरों के बीच ऊर्जा अंतर केन्द्रीय धातु परमाणु को घेरने वाले ऋणायन के स्वभाव पर निर्भर करता है। अतः किसीतत्व के भिन्न यौगिकों के रंग भिन्न होते हैं।

पाठगत प्रश्न 19.2

1. d-खंड तत्व किसे कहते हैं।

   ....

2. 3-d खंड वर्ग में कितने तत्व होते हैं ?

....

3. क्या यशद d-खंड तत्व है ? कारण दीजिए।

....

4. s-और p-खंड तत्वों से d-खंड तत्वों का इलेक्ट्रानी विन्यास किस प्रकार भिन्न होता है।

....

5. कयूप्रस लवण प्रतिचुम्बकीय होते हैं जबकि क्यूप्रिक लवण अनुचुम्बकीय होते हैं। स्पष्ट कीजिए।

....

6. स्कैंडियम, टाइटेनियम, वैनेडियम, क्रोमियम और मैंगनीज के सभी यौगिक जिनमें तत्व की आक्सीकरण अवस्था क्रमशः 3, 4, 5, 6, और 7 होती है, प्रतिचुम्बकीय होते हैं। क्यों ? स्पष्ट कीजिए।

....

7. संक्रमण तत्व सामान्यतया परिवर्ती आक्सीकरण अवस्थाएं क्यों प्रदर्शित करते हैं। ? कोई अपवाद हो तो उसका उल्लेख कीजिए।

....

19.4.8 संकुल रचना

सहसंयोजी संकुल वह है जिसमें धातु, संलग्नियों द्वारा बद्ध रहता है। जिनमें से प्रत्येक एक इलेक्ट्रान युग्म देता है। संकुल उदासीन अथवा आयनी स्पीसीज हो सकता है। जिसका धन अथवा ऋण आवेश हो सकता है। संकुल आयन में दो भिन्न अपृथक्करणीय भाग होते हैं। उदाहरणार्थ $[(Fe(CN)_6]^{4-}$ $[Ag(No_3)_2]^+$ आदि। इन आयनों के दो भाग होते हैं।

(i) केन्द्रीय धातु आयन, जो सदैव धनात्मक होता है, जैसे Fe^{2+}, Ag^+(ऊपर के उदाहरणों में) और
(ii) चारों ओर स्थित ऋण आयन अथवा उदासीन अणु जिन्हें संलग्नी कहते हैं।

संलग्नी, एक अथवा अधिक इलेक्ट्रान युग्म प्रदान कर सकते हैं। जैसे उपर्युक्त उदाहरणों सायनाइड ऋणायन और अमोनिया अणु, संलग्नी हैं। प्रत्येक केन्द्रीय धातु परमाणु को एक इलेक्ट्रान युग्म प्रदान कर सकता है। संकुल की आसान रचना का संबंध निम्न बातों पर निर्भर करता है :

(i) उच्च धन आवेश घनत्व (अर्थात् इन तत्वों के अल्प धनायन आमाप और उच्च प्रभावी नाभिकीय आवेश, Z*, होते हैं)
(ii) रिक्त d कक्षकों की उपलब्धता।

संक्रमण धातु आयनों में उच्च आवेश घनत्व और रिक्त d कक्षक अथवा संकरित कक्षक होते हैं।

19.4.9 उत्प्रेरकीय गुणधर्म

काई तत्व (अथवा उसका यौगिक), जिसमें अंशतः पूरित d-कोश होते हैं और जो परिवर्ती आक्सीकरण अवस्थाएं प्रदर्शित कर सकता है और संकुल रचना कर सकता है, वह उत्तम उत्प्रेरक के रूप में काम करता है क्योंकि वह अभिकारकों के लिए अनुकूल अभिक्रिया स्थल-उपलब्ध कर सकता है। अनेक संक्रमण तत्वों और उनके यौगिकों का उत्प्रेरक के रूप में उपयोग किया जाता है। ओलिफिनों के हाइड्रोजनीकरण में निकैल, उत्तम उत्प्रेरक के रूप में काम करता है और हॉबर प्रक्रम द्वारा अमोनिया गैस के निर्माण में सूक्ष्म विभाजित लोहा उत्प्रेरक के रूप में काम किया है संपर्क-प्रक्रम द्वारा सल्फ्यूरिक अम्ल के निर्माण में वैनेडियम पेन्टॉक्साइड श्रेष्ठ उत्प्रेरक का काम करता है।

पाठगत प्रश्न 19.3

1. निम्नलिखित का सूत्र और नाम लिखिए
   (क) धनायनी संकुल स्पीशीज जिनमें,
      (i) संक्रमण तत्व विद्यमान हो।
      (ii) असंक्रमण तत्व विद्यमान हो।

   ....

   (ख) ऋणायनी संकुल स्पीशीज जिनमें
      (i) संक्रमण तत्व विद्यमान हो
      (ii) अ-संक्रमण तत्व विद्यमान हों।

   ....

2. संक्रमण तत्व उत्तम उत्प्रेरकों की भांति काम करते हैं, क्यों ?

   ....

3. कुछ साधारण उत्प्रेरकों के नाम बताइए जिनका आपने अध्ययन किया है।

   ....

19.5 आपने क्या सीखा

- स्कैंडियम में (तत्व क्रमांक 21) पूरित हो रहे मुख्य क्वांटम संख्या के दूसरे उपकोश के पूरित होने के बजाय पिछली मुख्य क्वांटम संख्या का उपकोश पूरित होने लगता है।
- संक्रमण श्रेणियां चार हैं जिन्हें क्रमश 3d, 4d, 5d और 6d नाम दिया गया हैं अंतिम श्रेणी अभी अपूर्ण है।
- जिन तत्वों के परमाणुओं अथवा आयनों में अंशतः पूरति d-उपकोश होते हैं उन्हें d-खंड तत्व कहते हैं।
- d- खंड तत्व परिवर्ती ऑक्सीकरण अवस्थाएं प्रदर्शित करते हैं।
- संक्रमण धातुएँ और उनके यौगिक अनुचुम्बकीय व्यवहार प्रदर्शित करते हैं। जिसक कारण उनके परमाणु अथवा अणु में अयुग्मित इलेक्ट्रानों की उपस्थिति है।
- d-खंड तत्वों के अधिकांश यौगिक या तो रंगीन होते हैं अथवा जल में घुलने पर रंगीन विलयन बनाते हैं।

- प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्वों के उच्च घनत्व, उच्च तनन सामर्थ्य, उच्च ऊष्मीय और वैद्युत चालकताएं तथा उच्च गलनांक और क्वथनांक होते हैं।
- प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्व तन्य और आघातवर्ध्य होते हैं।
- संक्रमण तत्व अनेक मिश्रातु और अंतराकाशी यौगिक बनाते हैं।
- संक्रमण तत्वों का सामान्य इलेक्ट्रानी विन्यास $(n-1)d^{1 \text{ से } 10} s^{1 \text{ से } 2}$ होता है

19.6 पाठान्त प्रश्न

1. स्पष्ट कीजिए क्यों,
   लोहा FeF_3 और FeI_2 बनाता है। किन्तु FeF_2 अथवा FeI_3 नहीं बनाता है यद्यपि $FeCl_2$ और $FeCl_3$ दोनों बनते हैं।

   ....

2. $KMnO_4$ का गहरा रंग होता है जबकि MnO_4 का फीका रंग होता है।, क्यों ?

   ....

3. संक्रमण धातु, अन्य संक्रमण धातुओं के साथ आसानी से मिश्रातु बनाता है, क्यों ?

   ....

4. संक्रमण धातुएं अंतराकाशी यौगिक क्यों बनाती हैं।
   ऐसे यौगिकों को बनाने का क्या लाभ है ?

   ....

5. प्रथम संक्रमण श्रेणी के तत्व/तत्वों का नाम बताइए जो एक या अधिक आक्सीकरण अवस्थाओं में
   (i) कोई अनुचुम्बकीय स्पीशीज नहीं बनाते हैं।
   (ii) कोई प्रतिचुम्बकीय स्पीशीज नहीं बनाते हैं।

   ....

6. प्रथम संक्रमण श्रेणी के उन स्पीशीज के नाम बताइए जिनमें अयुग्मित इलेक्ट्रानों की (इसलिए μ की) वही संख्या होती है जो Fe^{2+} की होती है। इन स्पीशीज का BM में चुम्बकीय आधूर्ण परिकलित कीजिए।

   ....

7. क्रोमियम $(z = 24)$ में $3d^4 4s^2$ की अपेक्षा $3d^5 4s^1$ विन्यास की ऊर्जा कम होती है। स्पष्ट कीजिए क्यों ?

   ....

8. ताम्र $(z = 29)$ का इलेक्ट्रानी विन्यास लिखिए। क्यूप्रस लवणों की विद्यमानता की व्याख्या कीजिए।

   ....

9. अनुचुंबकीय पदार्थ प्रायः रंगीन होते हैं, क्यों ?

   ....

10. जिस पदार्थ में अयुग्मित इलेक्ट्रान होता वह अनुचुम्बकीय होता है। क्या इसका यह अर्थ हुआ कि सभी अनुचुम्बकीय पदार्थों में इलेक्ट्रानों की विषम संख्या होती है ? कोई अपवाद हो तो बताइए।

....

11. जिस पदार्थ में कोई अयुग्मित इलेक्ट्रान नहीं होते हैं वह प्रतिचुम्बकीय होता है। क्या इसका यह अर्थ हुआ कि वे सभी पदार्थ जिनमें पदार्थों का सम संख्या होती है, वे प्रतिचुम्बकीय होते हैं।

....

अपने उत्तरों की जांच कीजिए

पाठगत प्रश्न 19.1

1. संक्रमण तत्व उन तत्वों को कहते हैं जिनकी तत्व अवस्था में अथवा संयुक्त होने पर किसी उभयनिष्ठ आक्सीकरण अवस्थाओं में अंशतः पूरित d-उपकोश होते हैं।
2. प्रथम संक्रमण श्रेणी में sc (z - 21) से cu (z = 29) तक 9 तत्व हैं। उन्के नाम हैं : स्कैंडियम, टाइटेनियम, वैनेडियम, क्रोमियम, मैंग्नीज, लोहा, कोबाल्ट, निकैल और ताम्र।
3. Cu^{2+}, Ag^{2+} और Au^{3+} का इलेक्ट्रानी विन्यास $3d^9\,4d^9$ और $5d^9$ हैं जिनमें d-उपकोश अंशतः पूरित होता है। इसलिए ताम्र, रजत और स्वर्ण संक्रमण तत्व हैं। दूसरी ओर Zn^{2+} Cd^{2+} और Hg^{2+} में से प्रत्येक के d- उपकोश में 10 इलेक्ट्रान हैं और इस प्रकार वे पूर्णतः पूरित हैं। इसके अतिरिक्त कोई अन्य ऐसी आक्सीकरण अवस्था नहीं है जिनमें यशद, कैडमियम और पारद ऐसे यौगिक बनाते हों जिनमें अंशतः पूरित उपकोश हों। इसलिए यशद, कैडमियम और पारद संक्रमण तत्व नहीं हैं।
4. (i) ताम्र (29) का इलेक्ट्रानी विन्यास $[Ar]\,3d^9\,4s^1$ है वह +2 आक्सीकरण अवस्था में आसानी से यौगिक बनाता है Cu^{2+} का विन्यास $[Ar]3d^9 4s^0$ है। जिसमें d-उपकोश अंशतः पूरित हैं। इसलिए ताम्र संक्रमण तत्व हैं।

(ii) रजत (47) का इलेक्ट्रानी विन्यास $[Kr]\,4d^{10}\,5s^1$ है। उसके +2 और +3 आक्सीकरण अवस्थाओं में यौगिक ज्ञात हैं क्योंकि इनमें से प्रत्येक आक्सीकरण अवस्था में d-उपकोश अंशतः पूरित है अतः रजत को संक्रमण तत्व माना जाता है।

(iii) यशद (30) का $[Ar]\ 3d^{10}4s^2$ विन्यास है। यशद केवल +2 आक्सीकरण अवस्था में यौगिक बनाता है जिनमें उनका विन्यास $3d^{10}4s^0$ है।

(iv) स्वर्ण (79) का $[xe]\,4f^{14}\,5d^{10}\,6s^1$ विन्यास है और वह +1 और +3 आक्सीकरण अवस्थाएं प्रदर्शित करता है। +3 अवस्था में उसका अंशत पूरित d-उपकोश होता है। इसलिए स्वर्ण (79) संक्रमण तत्व है।

(v) ऐलुमिनियम (13) का $[Ne]\,3s^2\,3p^1$ विन्यास है। उसके d-उपकोश में कोई इलेक्ट्रान नहीं होता है। इसलिए वह d-खंड वर्ग का सदस्य नहीं है।

(vi) कैडमियम (48), वंग (50) और ऐन्टिमनी (51) का क्रमशः $[Kr]\,4d^{10}\,5s^2$, $[Kr]\,4d^{10}5s^2\,5p^2$ और $[Kr]\,4d^{10}5s^2\,5p^3$ विन्यास है। इन तत्वों द्वारा प्रदर्शित आक्सीकरण अवस्थाएं है। इन तत्वों

द्वारा प्रदर्शित आक्सीकरण अवस्थाएं क्रमश 2; 2 और 4 तथा 3 और 5 हैं। इनमें से किसी के भी अवस्था में d-उपकोश अंशतः पूरित नहीं है। अतः इनमें कोई भी संक्रमण तत्व नहीं हैं।

पाठगत प्रश्न 19.2

1. d-खंड तत्व वे तत्व होते हैं जिनमें आगन्तुक इलेक्ट्रान अन्तिम d-उपकोश में स्थान लेता है।
2. 3-d खंड वर्ग में 9 तत्व होते हैं।
3. यशद को d-खंड तत्व नहीं माना जाता है क्योंकि यशद में तीसवां तत्व 4s उपकोश का पूरण करता है। तीसरा स्तर Cu $(Z = 29)$ पर पूर्णतया पूरित हो जाता है।
4. s-और p-खंड तत्वों में इलेक्ट्रान बाह्यतम कोश में प्रवेश करते हैं किन्तु d-खंड तत्वों में आगन्तुक इलेक्ट्रान उपांतिम कोश में प्रवेश करता है।
5. क्यूप्रस आयन में कोई अयुग्मित इलेक्ट्रान नहीं होता है जबकि क्यूप्रिक आयन के d-उपकोश में एक अयुग्मित इलेक्ट्रान होता है। फलतः क्यूप्रिक आयन अनुचुम्बकीय होता है।
6. Sc^{3+}, Ti^{4+}, V^{5+}, Cr^{6+} और Mn^{7+} में कोई अयुग्मित इलेक्ट्रान नहीं होता है। 3d और 4s उपकोश में विद्यमान सभी इलेक्ट्रानों के निकल जाने से ये आक्सीकरण अवस्थाएं प्राप्त होती हैं।
7. $(n-1)$d और ns इलेक्ट्रानों की भिन्न ऊजाएं होती हैं, अतः $(n-1)$ d और ns इलेक्ट्रानों की पूरी संख्या एक से अधिक चरणों में निष्काषित हो जाती है। इससे परिवर्ती आक्सीकरण अवस्थाएं प्राप्त होती है। किन्तु स्कैंडियम में 3d और 4s उपकोशों के सभी 3 इलेक्ट्रान एक साथ निकल जाते हैं। इसलिए वह +3 की केवल एक आक्सीकरण अवस्था प्रदर्शित करता है जो एक अपवाद है।

पाठगत प्रश्न 19.3

1.	(i)	(क)	$[Cr(NH_3)_6]^{3+}$	हेक्साऐम्मीन क्रोमियम (III)
		(ख)	$[Zn(NH_3)_4]^{2+}$	टेट्राऐम्मीन जिंक (II)
	(ii)	(क)	$[Fe(CN)_6]^{3-}$	हेक्सासायनोफेरेट (III)
		(ख)	$[Zn(OH)_4]^{2-}$	टेट्राहाइड्रॉक्सीजिंकेट (II)

2. मुक्त और संयुक्त दोनों अवस्थाओं में, संक्रमण तत्व आसानी से एक आक्सीकरण अवस्था से दूसरी आक्सीकरण अवस्था में परिवर्तित हो सकते हैं। अतः d-उपकोश में इलेक्ट्रानों की उपस्थिति से अभिकारकों को क्रिया करने में सुविधा रहती है।

3. हॉबर प्रक्रम द्वारा अमोनिया के निर्माण में लोहा और मॉलिब्डेनम तथा संपर्क प्रक्रम द्वारा H_2SO_4 के निर्माण में सल्फर डाइआक्साइड का सल्फर ट्राइऑक्साइड में आक्सीकरण में वैनेडियम पेन्टाआक्साइड उत्प्रेरक का काम करते हैं।

पाठांत प्रश्न

1. सबसे अधिक विद्युत ॠणात्मक होने के कारण फ्लुओरीन, लोहे को +3 अवस्था में आक्सीकृत कर देता है। इसलिए FeF_2 नहीं बनता है। दूसरी ओर घनात्मक गुण के कारण आयोडीन, लोहे को +3 अवस्था में आक्सीकृत नहीं कर सकता है। और केवल FeI_2 बनता है। क्लोरीन का विद्युत ॠणात्मक मान दोनों के बीच का होता है और वह भिन्न प्रायोगिक स्थितियों में लाहे को +2 और +3 दोनों अवस्थाओं में आक्सीकृत करता है।
2. $KMnO_4$ का रंग, परमैंगनेट आयन, MnO_4^-, के कारण होता है जिसमें इलेक्ट्रान, आक्सीजन परमाणु से मैंगनीज परमाणु में स्थानांतरित हो जाते हैं। $MnSO_4$ में, Mn^{2+} आयन का d^5 विन्यास होता है। निम्न ऊर्जा स्तर से उच्च्य ऊर्जा स्तर में इलेक्ट्रानों का स्थानांतरण, जिसमें युग्मन होता है एक अनुकूल प्रक्रम नहीं है। इसलिए यौगिकों में Mn^{2+} होता है। वे फीके रंग के होते हैं।
3. अधिकांश संक्रमण तत्वों की परमाणु त्रिज्याएं एक-दूसरे के बहुत निकट होती हैं और वे समान आकारों में भी क्रिस्टलित होते हैं अतः संक्रमण तत्व, अन्य तत्वों के साथ आसानी से मिश्रातु बनाते हैं।
4. संक्रमण तत्वों के क्रिस्टल जालक में रिक्त स्थान होता है अतः अधिकांश संक्रमन तत्व इन अंतरालों में H, B, C, N आदि अनेक अधातुओं को समायोजित कर अंतराकाशी यौगिक बनाते हैं। ये यौगिक रसायनतः अक्रिय और कठोर होते हैं तथा उनकी उच्च्य विद्युत चालकता और उच्च्य गलनांक होते हैं।
5. (i) +3 आक्सीकरण अवस्था में कोई अयुग्मित इहेक्ट्रान नहीं होने के कारण स्कैंडियम अनुचुम्बकीय यौगिक नहीं बनाता है। वह अन्य कोई आक्सीकरण अवस्था प्रदर्शित नहीं करता है।
   (ii) लोहा, किसी भी आक्सीकरण अवस्था में कोई प्रति चुम्बकीय स्पीशीज नहीं बनाता है।
6. Cr^{2+} में अयुग्मित इलेक्ट्रानों की वहीं संख्या होती है। जो Fe^{2+} में होती है। दोनों में अयुग्मित इलेक्ट्रानों की संख्या 4 है। उसका चुम्बकीय आघूर्ण,
   $\mu = [n(n+2)]^{1/2}, n = 4$
   $= [4(4+2)]^{1/2}$
   $= (24)^{1/2}$
   $= 4.9BM$
7. क्योंकि अर्घपूरित और पूर्णतः पूरित उपकोश अधिक स्थायी होते हैं। अतः $3d^4 4s^2$ विन्यास बदलकर $3d^5 4s^1$ हो जाता है जिसमें d-उपकोश और s-उपकोश दोनों अर्धपूरित होते हैं।
8. पूर्णतः पूरित उपकोश अधिक स्थाई होता है, अतः ताम्र (z = 29) का इलेक्ट्रानी विन्यास $3d^9 4s^2$ से $3d^{10} 4s^1$ में परिवर्तित हो जाता है। केवल 4s इलेक्ट्रान का निष्कासन क्यूप्रस लवण की विद्यमान व्यक्त करता है।
9. अनुचुबकीय पदार्थ में अयुग्मित इलेक्ट्रान होते हैं। यदि अयुग्मित इलेक्ट्रान धातु के परमाणु अथवा आयन के d-अथवा f उपकोश में हो तो पदार्थ रंगीन होता है अन्यथा नहीं। उदाहरण के लिए अनु-चुम्बकीय O_2 और NO रंगीन नहीं होते हैं।

10. वे पदार्थ जिनमें इलेक्ट्रानों की विषम संख्या होती है वे अनुचुम्बकीय होते हैं किन्तु सभी अनुचुम्बकीय पदार्थों में इलेक्ट्रानों की विषम संख्या का होना आवश्यक नहीं, आक्सीजन, जिसमें 16 इलेक्ट्रान हैं, अनुचुम्बकीय होता है और अंशतः पूरित d-उपकोश वाले सभी संक्रमण तत्त्व अनुचुम्बकत्व प्रदर्शित करते हैं। भले ही इलेक्ट्रानों की संख्या सम हो।

11. यह सही है कि जिस पदार्थ में कोई अयुग्मित इलेक्ट्रान नहीं होता है वह प्रति चुम्बकीय होता है। किन्तु जिस पदार्थ में इलेक्ट्रानों की सम संख्या होती है उनमें 2 के गुणज में अयुग्मित इलेक्ट्रान हो सकते हैं। इस प्रकार जिस पदार्थ में इलेक्ट्रानों की सम संख्या होती है। यह आवश्यक नहीं कि वह प्रति चुम्बकीय हो।