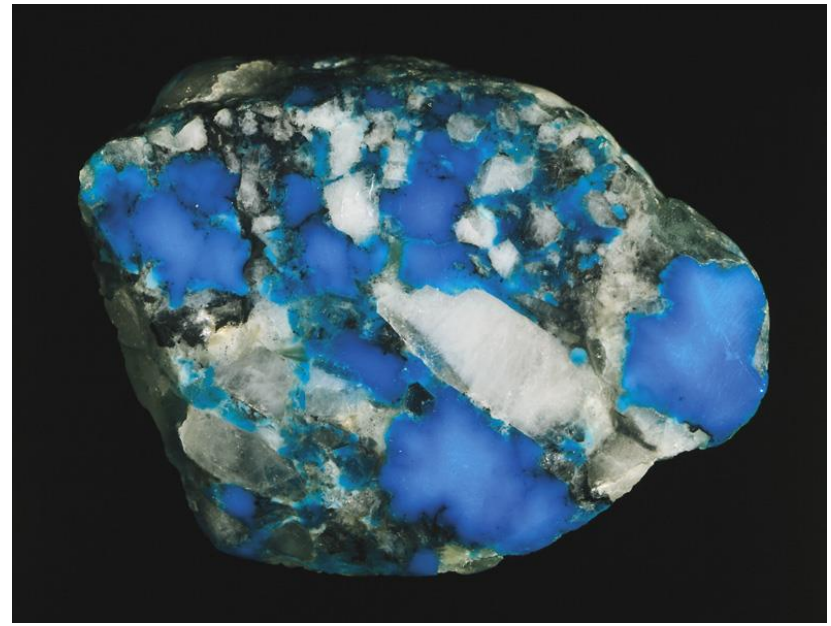


GENEL KİMYA

Prensipieri ve Modern Uygulamaları

Petrucci • Harwood • Herring

8. Baskı



BÖLÜM 25: KOMPLEKS İYONLAR VE KOORDİNASYON BİLEŞİKLERİ

Doç. Dr. GÜLNUR KESER KARAOĞLAN
Kimya Bölümü, İstanbul

İçindekiler

- 25-1 Werner'in Koordinasyon Bileşikleri Kuramı
- 25-2 Ligandlar
- 25-3 İsimlendirme
- 25-4 İzomeri
- 25-5 Kompleks İyonlarda Bağlanma: **Kristal Alan Kuramı**
- 25-6 Koordinasyon Bileşiklerinin Manyetik Özellikleri ve Kristal Alan Kuramı
- 25-7 Renk ve Koordinasyon Bileşiklerinin Renkleri

İçindekiler

25-8 Kompleks İyon İçeren Dengeler

25-9 Kompleks İyonların Asit-Baz Tepkimeleri

25-10 Bazı Kinetik Olgular

25-11 Koordinasyon Kimyasının Uygulamaları

25-1 Werner'in Koordinasyon Bileşikleri Kuramı

- İki basit bileşikten oluşan bileşiklere *“koordinasyon bileşikleri”* denir.
- CoCl_3 ve NH_3 .
 - $\text{CoCl}_3 \cdot (\text{NH}_3)_6$ ve $\text{CoCl}_3 \cdot (\text{NH}_3)_5$.
 - AgNO_3 ile farklı reaksiyon verirler.



Alfred Werner
(1866-1919)



Soldaki $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ ve sağdaki $[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$

Werner Kuramı

- Başta geçiş metalleri olmak üzere, kimi metal atomları iki tür değerlik ya da bağlanma kapasitesine sahiptir.

– Birincil Değerlik

- Metal iyonu oluşurken atomun kaybettiği elektron sayısıdır.

– İkincil Değerlik

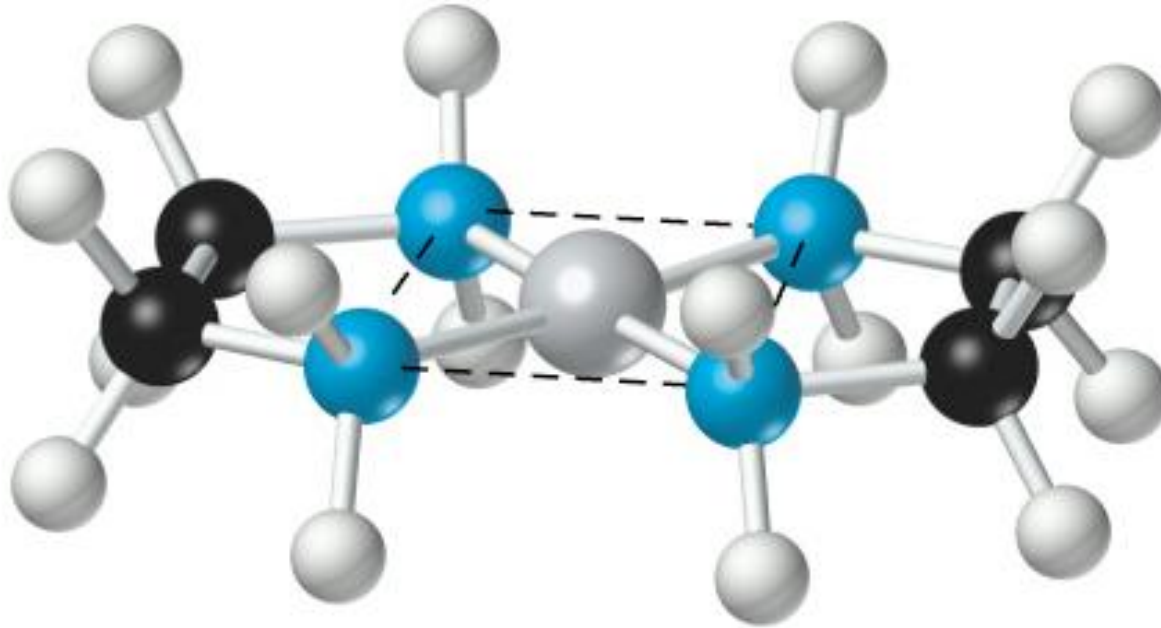
- **Ligand** adı verilen diğer grupların merkezi metal iyonuna bağlanmasından sorumludur.



25-2 Ligandlar

- Merkez metal atomuna veya iyonuna elektron çifti verebilen türlere “*ligand*” denir.
- Ligandlar *Lewis bazlarıdır*.
 - Merkez atom veya iyon, elektron çifti kabul etmekle, Lewis asidi görevi yapar.
- **Tekdişli Ligand**
 - Yalnız bir elektron çifti verebilen liganda “*tekdişli ligand*” denir.
- **İkidişli Ligand**
 - Kimi ligandlar farklı atomları üzerindeki elektron çiftlerini kompleks yapısındaki farklı noktalara verme eğilimindedir. Böylesi ligandlara “*çokdişli ligandlar*” denir. İki elektron çifti verdiği için etilendiamin (en)’e “*ikidişli ligand*” denir.
- *Üçdişli, dördüşişli.....çokdişli*

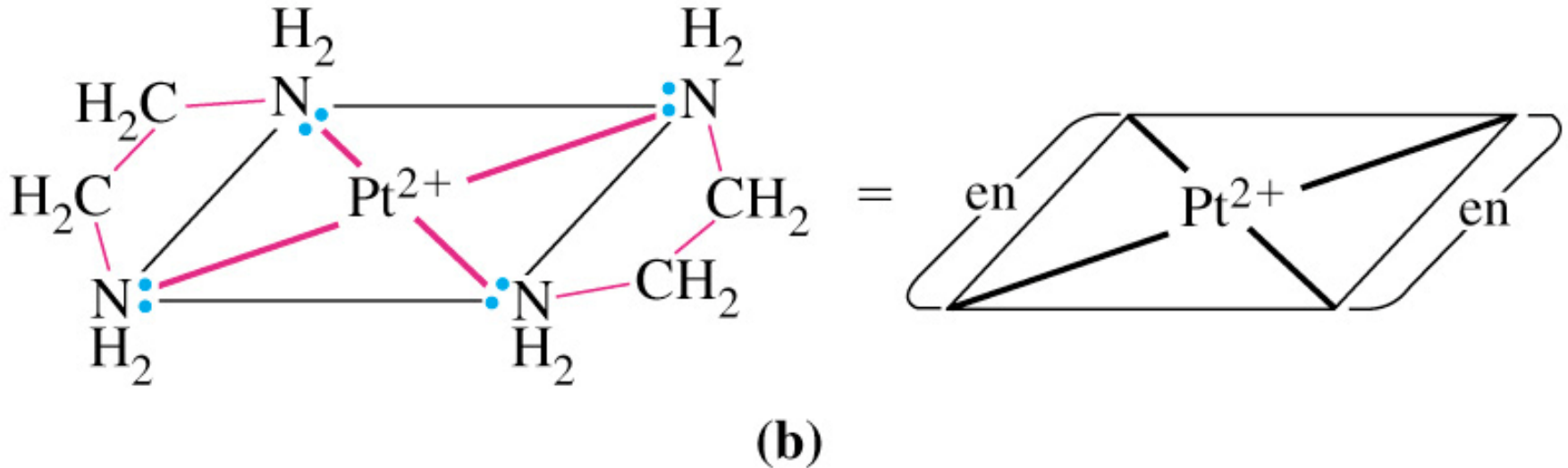
Kelat $[\text{Pt}(\text{en})_2]^{2+}$



(a)

Genel Yapı

Kelat $[\text{Pt}(\text{en})_2]^{2+}$



Ligandları bir kare kenarındaki komşu köşelere tutunmuştur. Ligandlar zır köşeler arasında köprü oluşturmazlar. Bağlar kırmızı renkte ve kare düzlem yapı siyah paralel kenarla gösterilmiştir.

25-3 İsimlendirme

- *Katyonlar anyonlardan önce adlandırılır.* Bu kural sodyum klorür, NaCl, gibi basit tuzlara uygulanan kuralla aynıdır.
- *Ligand rolündeki anyonlar* “o” ile biter. “ür” eki “o” “it” eki “ito” “at” eki “ato” şekline dönüşür.
- Ligand rolündeki çoğu nötr moleküllerin adı değişmez. Örneğin, etilendiamin adı hem komplekste hem de serbest molekül hali için aynıdır (akua, amin, karbonil ve nitrozil bu kuralın dışındadır).

İsimlendirme

- Bir tipteki ligand sayısı Yunanca eklerle verilir. Tekdişli ligandlara ilişkin örnekler: *mono:1, di:2, tri:3, tetra:4, penta:5, hekza:6* dır. Mono öneki çok fazla kullanılmaz. Ligand adı karmaşıksa ve sayısal ön ek içeriyorsa, sayısının belirtmek için önüne *bis:2, tris:3, tetrakis:4* vs. getirilir.

İsimlendirme

- Önce ligandlar alfabetik sıraya göre adlandırılır, bunu metalin adı izler. Merkez metal iyonunun değeri Romen rakamlarıyla gösterilir. Kompleks anyonlarda merkez atomu “at” ekiyle sonlanır.
- Bir kompleksin formülünü yazarken önce merkezi metalin simgesi, sonra anyonlar ve nötr moleküllerin simgesi yazılır. Birden fazla anyon ya da nötr molekül varsa bunlar simgelerindeki ilk harfe göre sıralanır.

25-4 İzomeri

- İzomeri

- İki veya daha çok maddenin kapalı formülleri aynı olabilir. Fakat bunların yapıları ve özellikleri farklıdır. Böylesi maddelere **izomer** adı verilir.
- Kompleks iyonları ve koordinasyon bileşikleri arasında birkaç tür izomeri vardır. Komplekslerdeki izomeri iki genel sınıfa ayrılabilir:

- Yapı İzomerleri

- Temel yapı ya da bağ tipiyle birbirinden ayrılır.
- İzomerliğin nedeni, metale bağlanan ligandlar veya ligand atomları arasındaki farklılıktır.

- Stereoizomerler

- Bağlanma yönünden aynı, fakat, ligandların uzaydaki dizilişleri yönünden farklıdırlar.

İzomeri Örnekleri

İyonlaşma İzomerisi:



pentaaminsülfatokrom(III) klorür



pentaaminklorokrom(III) sülfat

Koordinasyon İzomerisi:

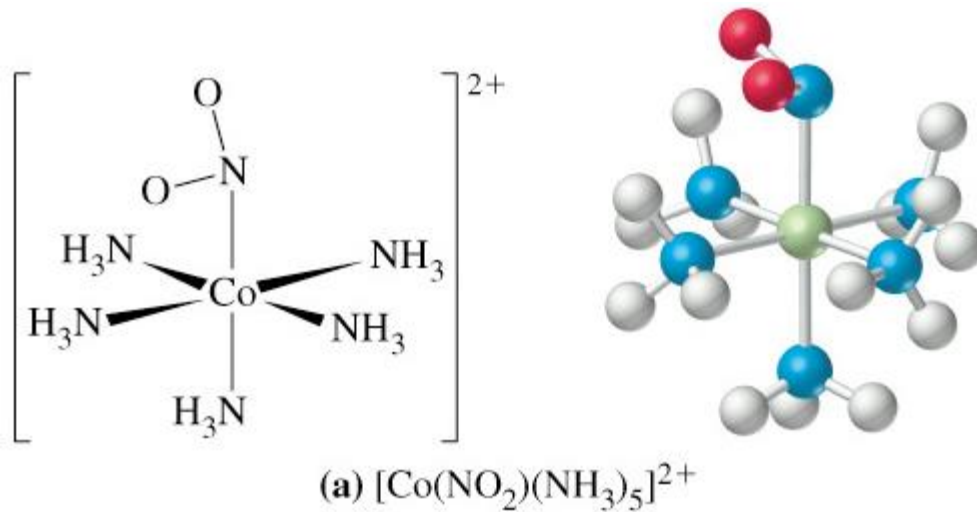


heksaaminkobalt(III) heksasiyanokromat(III)

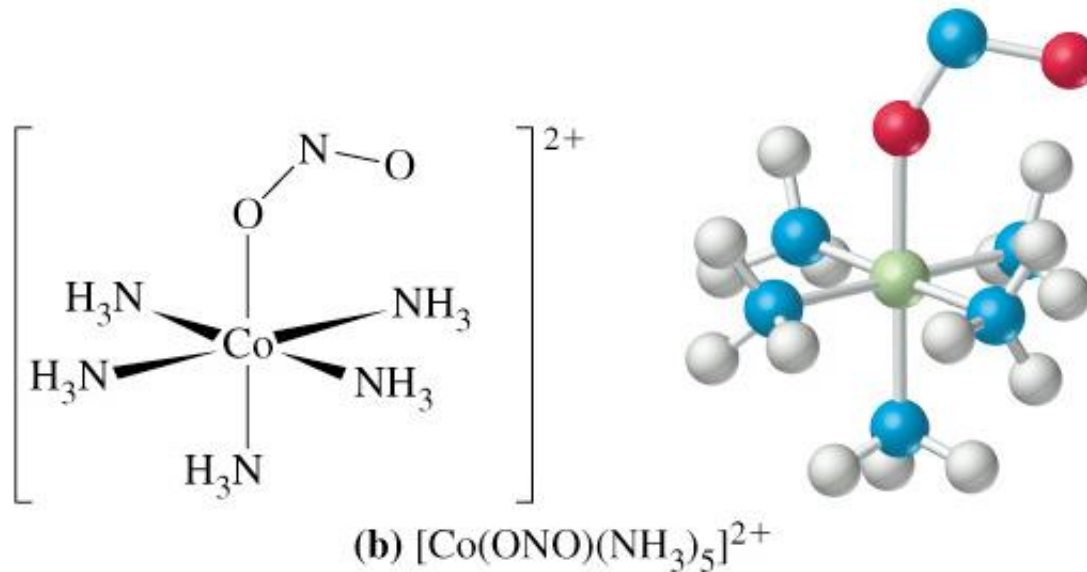


heksaaminkrom(III) heksasiyanokobaltat(III)

Bağlanma İzomerisi

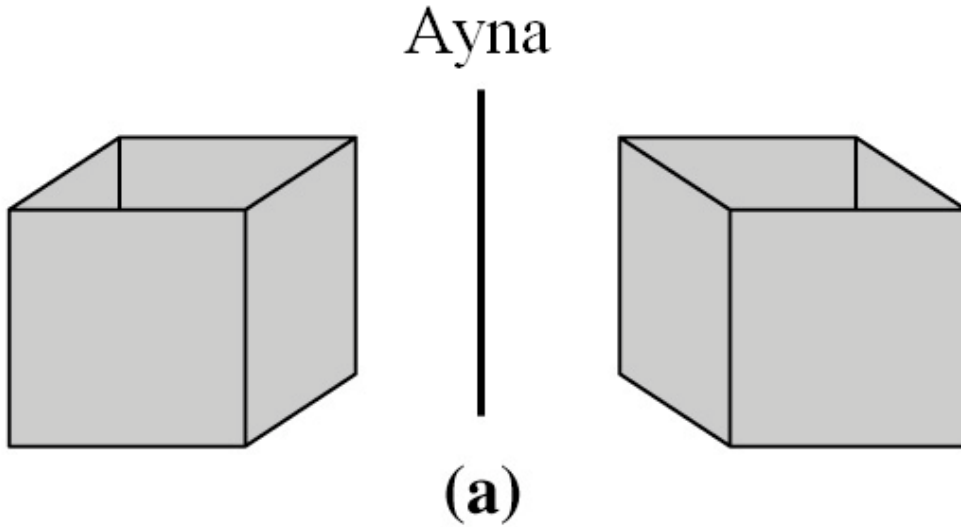


Pentaamminitrito-N-kobalt(III)katyonu

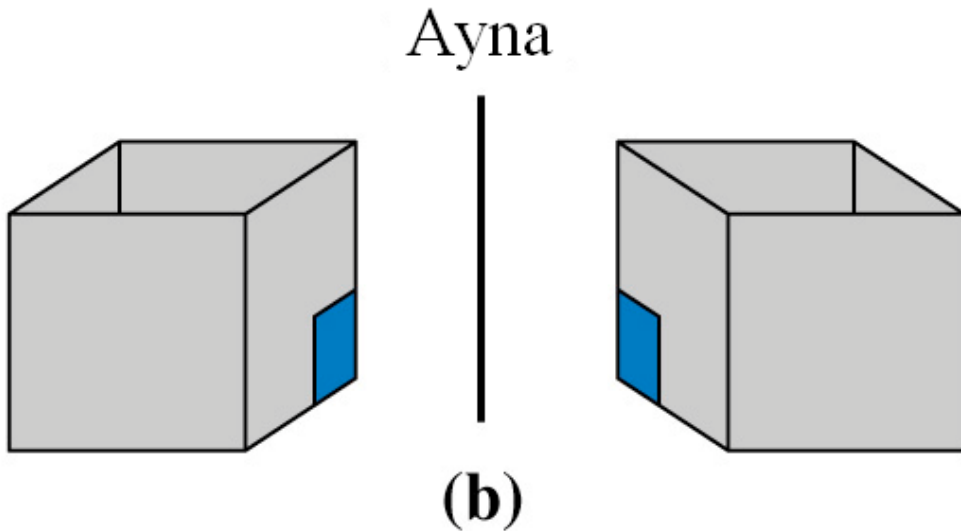


Pentaamminitrito-O-kobalt(III)katyonu

Optik İzomeri

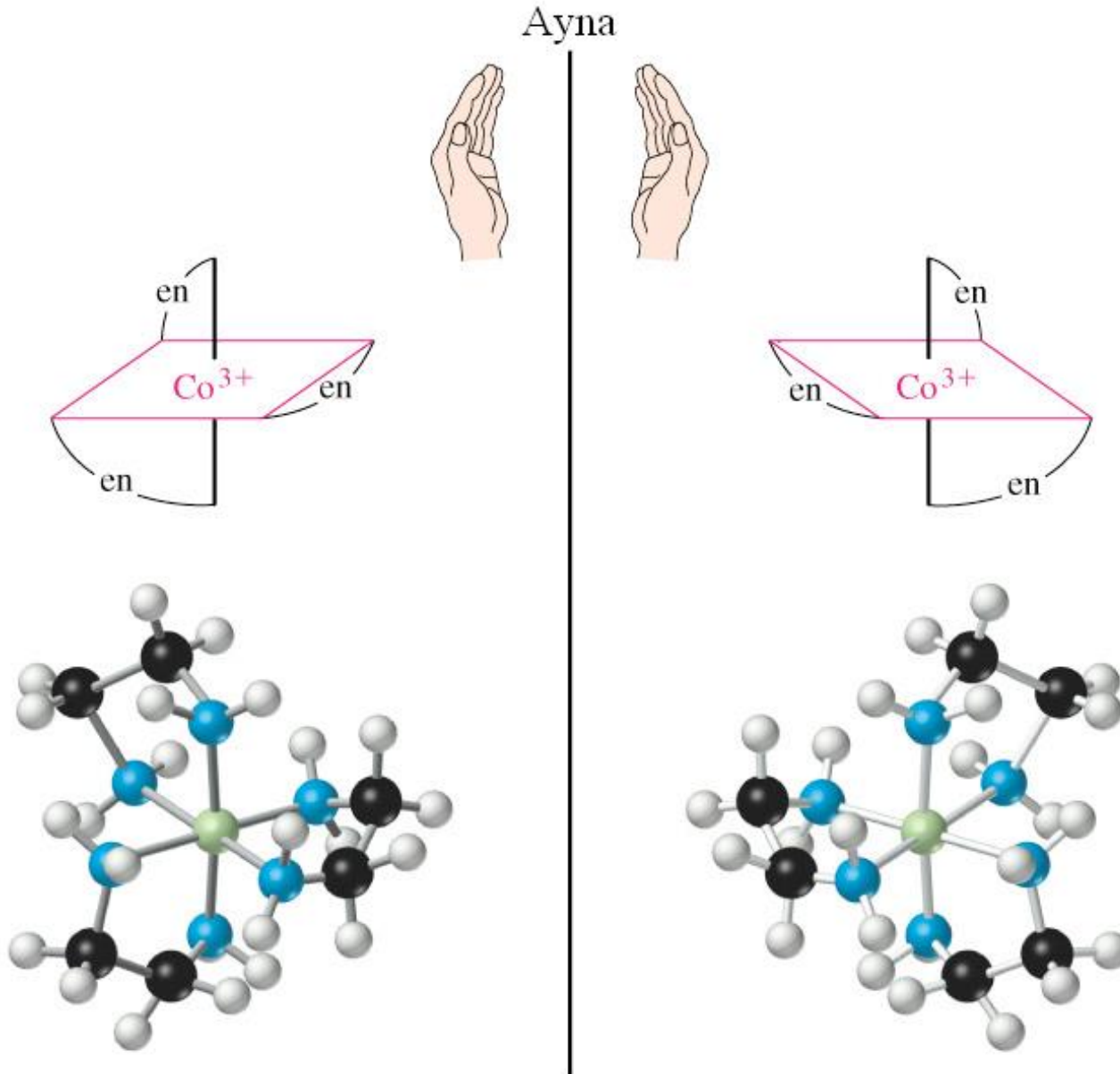


Kutuyu ayna görüntüsünden farklı yönlerden yerleştirebilirsiniz.



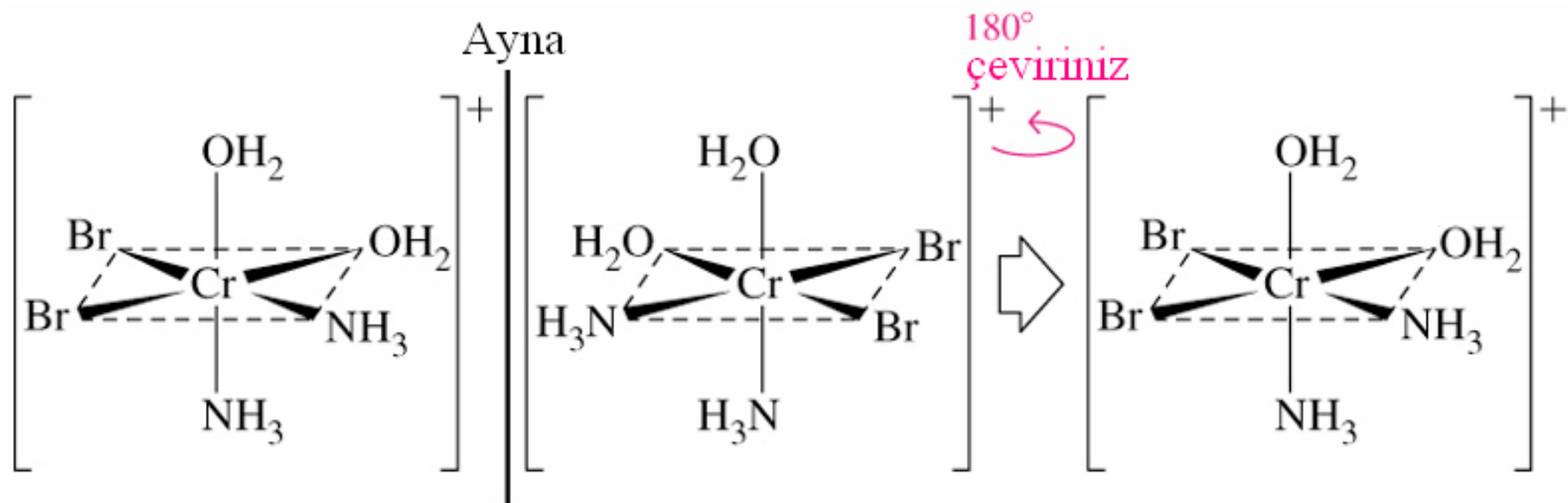
Kutu ve ayna görüntüsü üstüste çakışmaktadır.

Optik İzomeri



Görünen iki yapı, tıpkı sağ ve sol el gibi ayna görüntüleridir ve üstüste çakışmazlar.

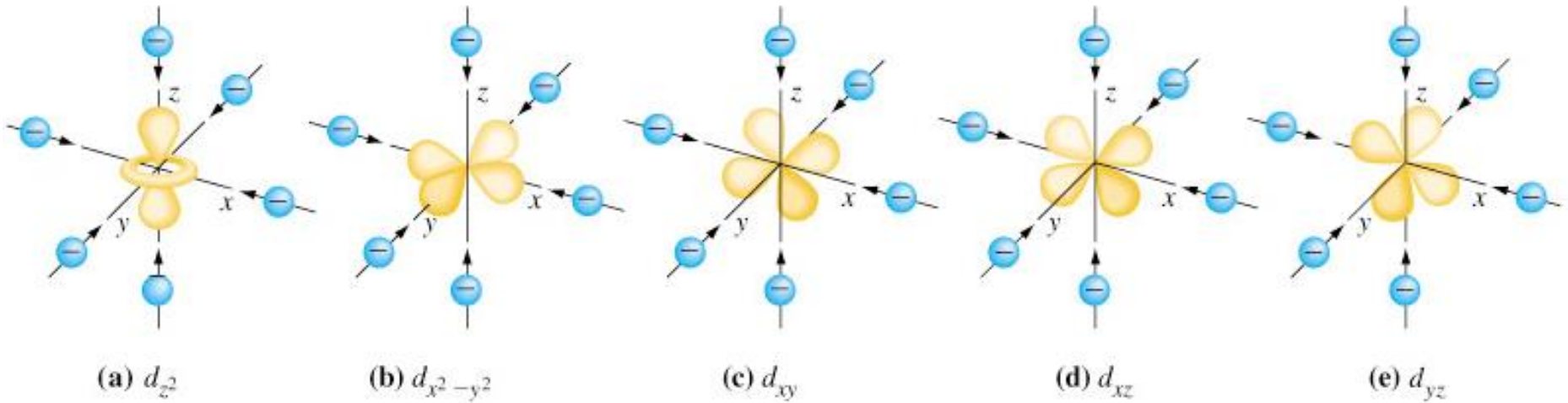
Ayna Görüntüsü



25-5 Kompleks İyonlarda Bağlanma: Kristal Alan Kuramı

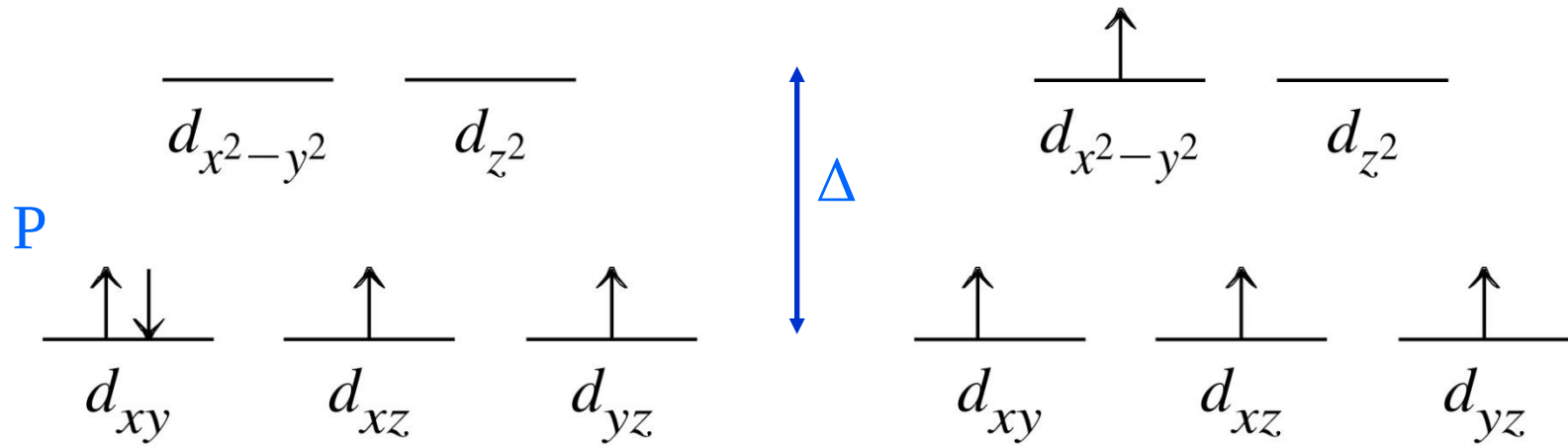
- **Kristal alan kuramına** göre bir kompleks iyondaki bağlanma, pozitif yüklü merkez atomla ligand elektronları arasındaki elektrostatik çekimler olarak düşünülür. Ligand elektronları ile merkez iyon elektronları arasında itmeler olur. Kristal alan kuramı ligand elektronları ile merkez iyonun *d-elektronları* arasındaki itmeler üzerinde odaklanır.

Oktahedral Kompleks ve d -Orbital Enerjileri



Ligandlar (burada anyonlar) merkez metal iyonuna x , y ve z eksenini doğrultusunda yaklaşmaktadır. En büyük etkileşim d_{z^2} ve $d_{x^2-y^2}$ orbitalleriyle olur ve onların enerjileri artar. Diğer d orbitalleriyle etkileşimler o denli büyük olmadığından iki grup d orbitali arasında bir enerji farkı ortaya çıkar.

d -Orbitallerinde Elektron Dağılımı



Hund kuralı

Eşleşme enerjisi (P)

$$\Delta > P$$

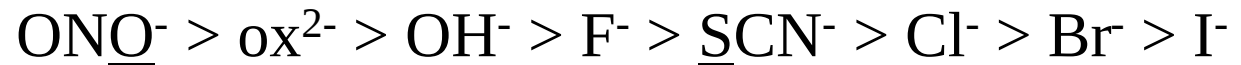
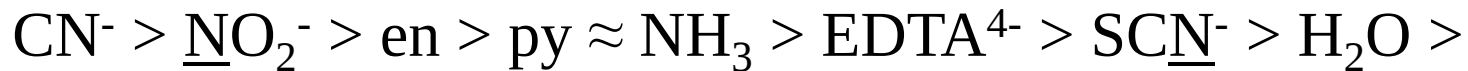
$$\Delta < P$$

Düşük spin d^4

Yüksek spin d^4

Spektrokimyasal Seri

Geniş Δ
Kuvvetli alan

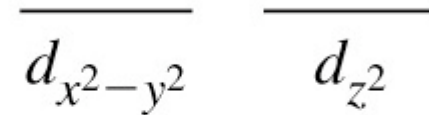


Dar Δ
Zayıf alan

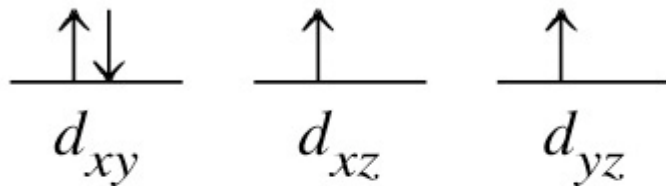
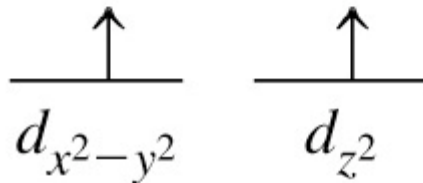
Zayıf ve Kuvvetli Alan Ligandları

İki d^6 kompleksi:

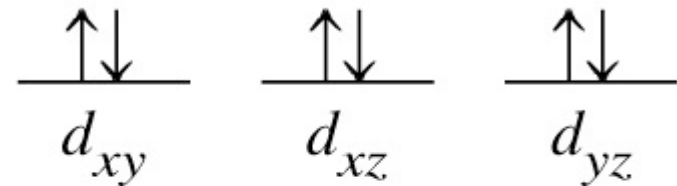
Kuvvetli Alan



Zayıf Alan



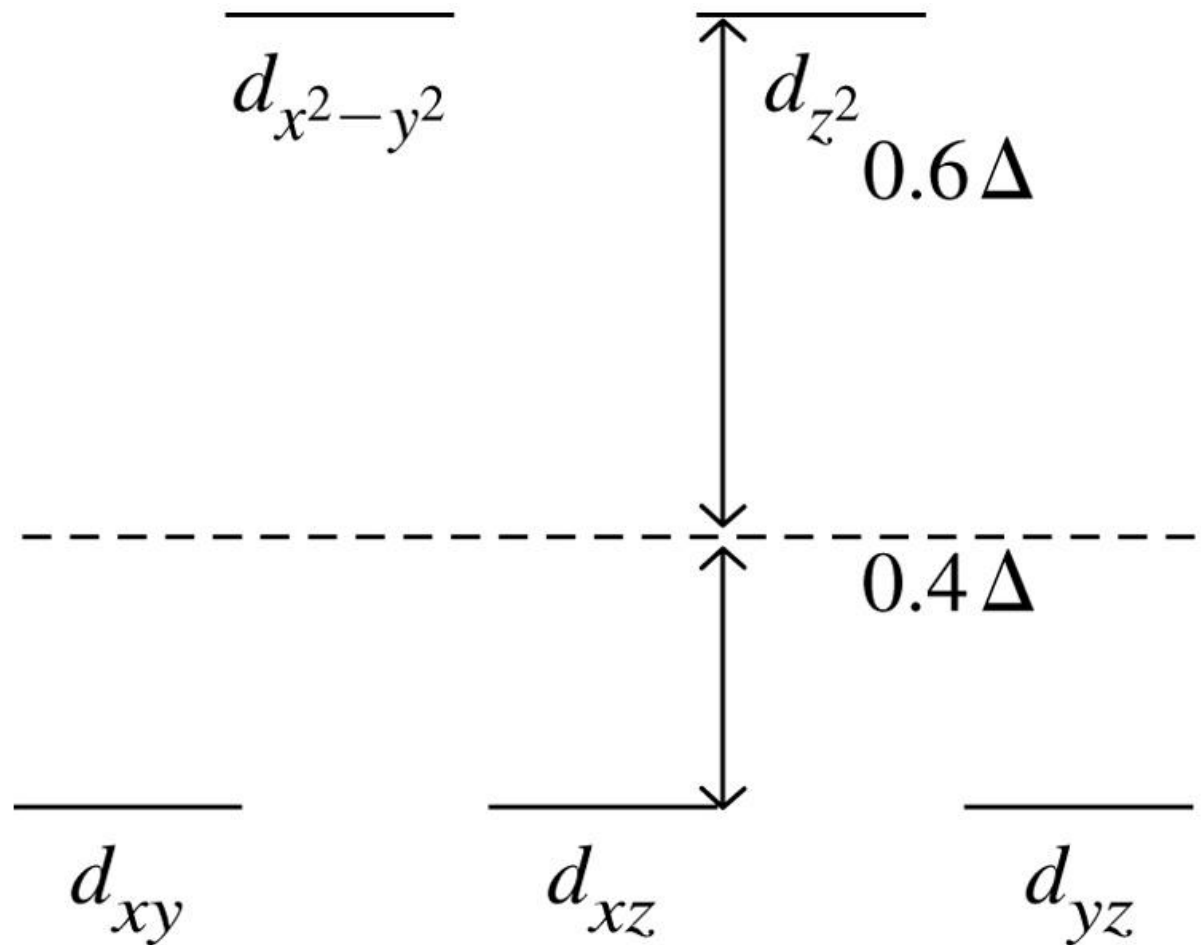
Yüksek-spin kompleksi



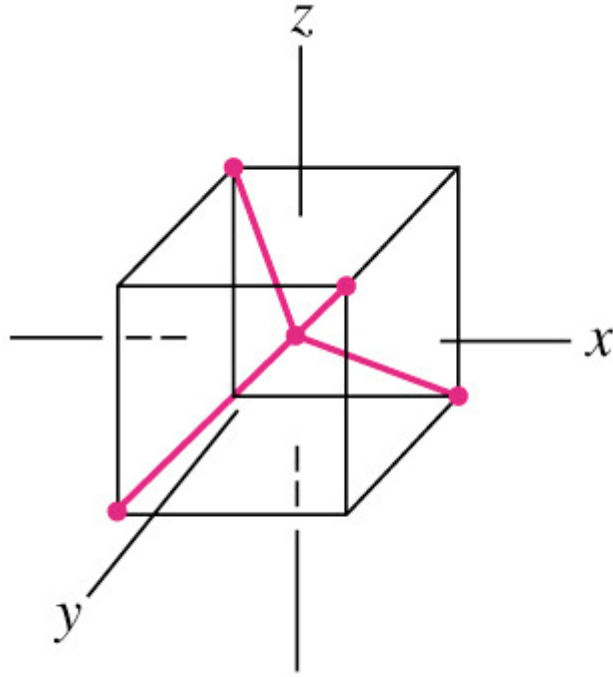
Düşük-spin kompleksi



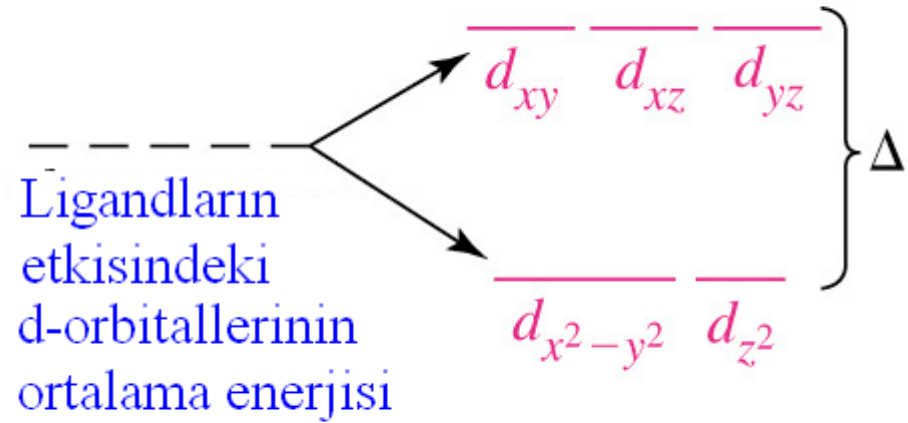
d^{10} Sisteminde Enerji Etkisi



Dörtüzlü Kompleks İyonda Kristal Alan Yarılması



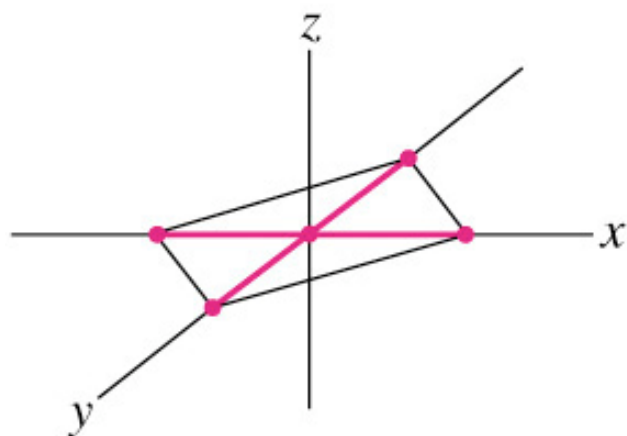
(a)



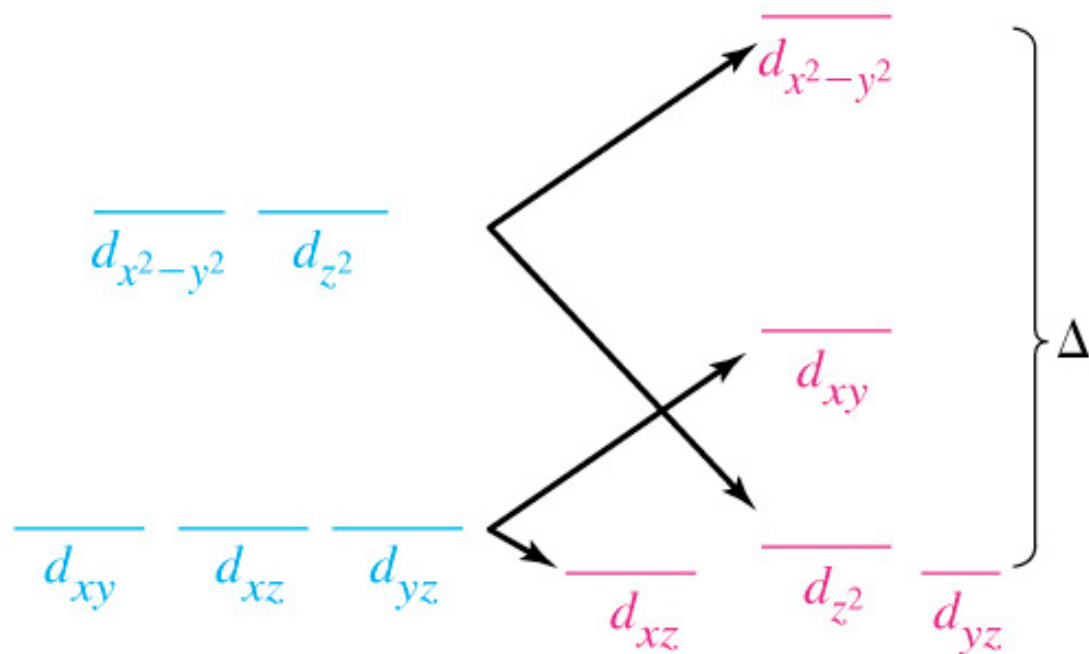
(b)

(a) Dörtüzlü kompleks oluşumunu sağlayan metal iyonuna ligandın bağlanma konumu. (b) x, y ve z eksenleri doğrultusundaki d orbitallerinin etkileşimi bu eksenler arasına yönelen orbitaller kadar büyük değildir. Sonuçta sekizyüzlüdeki kristal alan yarılması burada tersine dönmüştür.

Kare Düzlem ve Sekizyüzlü Komplekslerde Kristal Alan Yarılması



(a)



Oktahedral kompleks

Kare-düzlem kompleks

(b)

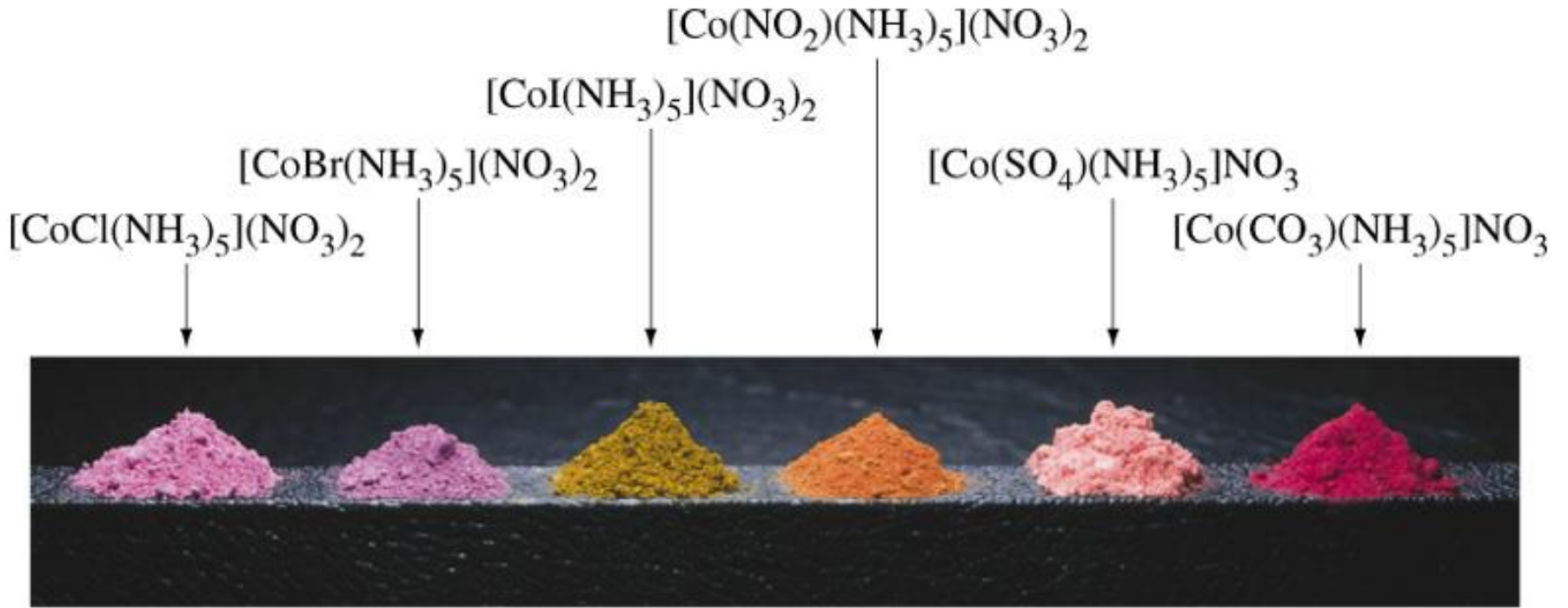
Kare Düzlem ve Sekizyüzlü Komplekslerde Kristal Alan Yarılması

- a) Kare-düzlem bir kompleksle sonuçlanan ligandların bir metal iyonuna bağlanma konumları.
- b) Bir kare-düzlem komplekste d enerji düzeyinin yarılması sekizyüzlü kompleksle ilişkilendirilebilir. Kare-düzlem kompleksin z eksenini doğrultusunda ligand bulunmadığından, ligandlarla d_{z^2} elektronları arasında itme sekizyüzlü komplekstekinden daha zayıftır. d_{z^2} enerji düzeyi sekizyüzlü kompleksteki düzeyin çok altına inmiştir. Buna karşın $d_{x^2-y^2}$ enerji düzeyi yükselmiştir. Çünkü x ve y eksenleri dört ligandın metal iyonuna yaklaşım doğrultusundadır. d_{xy} orbitalinin enerjisi de artmıştır. Çünkü bu orbital kare-düzlem kompleksin ligand düzleminde. Kompleks düzlemine dik düzlemlerde yoğunlaşan d_{xy} ve d_{yz} orbitallerinin enerjileri biraz azalmıştır.

25-7 Renk ve Komplekslerin Rengi

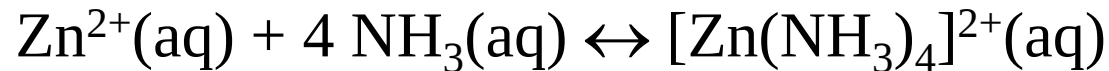
- **Birincil Renkler**
 - *Kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B).*
- **İkincil Renkler**
 - İki birincil rengin karıştırılmasından oluşur.
- **Tamamlayıcı Renkler**
 - Her ikincil renk birincil renklerden birisinin bir tamamlayıcısıdır.
 - *Siyan mavisi (C) kırmızı (R) rengin; morumsu kırmızı (M) yeşilin (G); sarı (Y) ise mavinin (B) tamamlayıcısıdır.*
 - *Birincil bir renk ve onun tamamlayıcısı renk karıştığında sonuç beyaz (W) dır.*

Koordinasyon Bileşiklerinin Renkleri Üzerine Ligandların Etkisi



Bu bileşiklerin hepsi altı koordinasyonlu kobalt kompleks iyonuyla nitrat iyonlarını içermektedir. Her kompleks iyonun beş NH_3 molekülü ve bir başka ligandı vardır.

25-8 Kompleks İyon İçeren Dengeler



$$K_{\text{ol}} = \frac{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}}{[\text{Zn}^{2+}][\text{NH}_3]^4} = 4,1 \times 10^8$$

Yer Değiştirme Basamak Basamak Gerçekleşir:

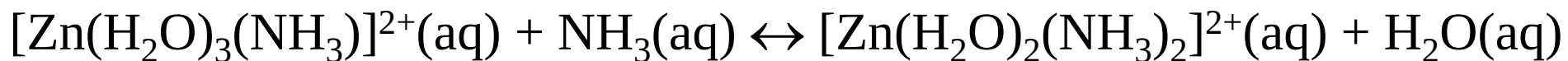
1.Basamak:



$$K_1 = \frac{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)]^{2+}}{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}[\text{NH}_3]} = \beta_1 = 3,9 \times 10^2$$

Kompleks İyon İçeren Dengeler

2.Basamak:



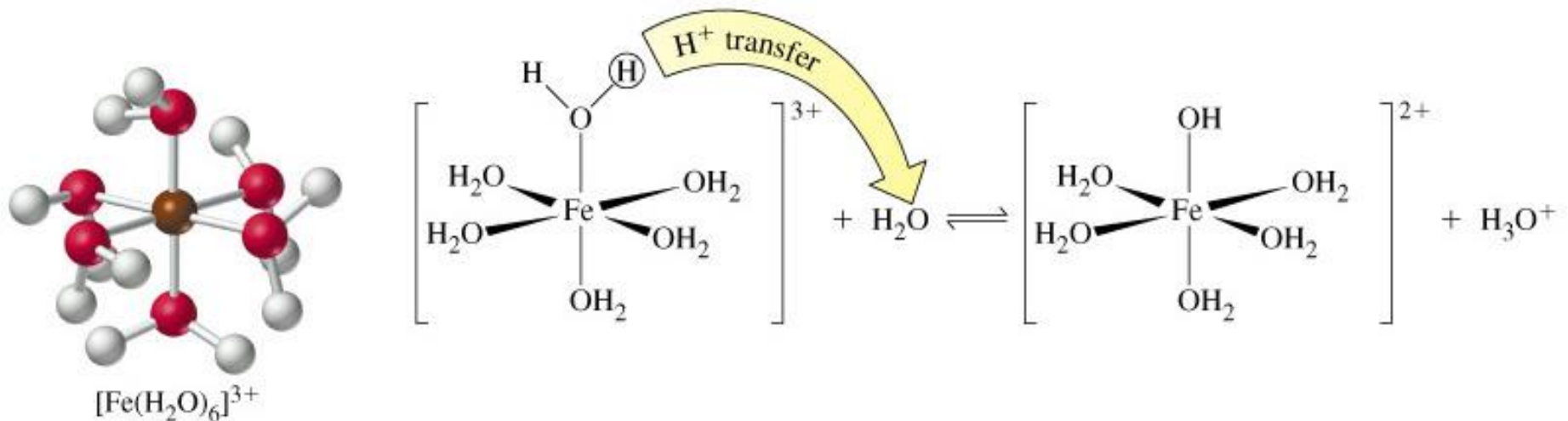
$$K_2 = \frac{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_2]^{2+}}{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)]^{2+}[\text{NH}_3]} = 2,1 \times 10^2$$

1. ve 2.Basamağın Birleştirilmesi:

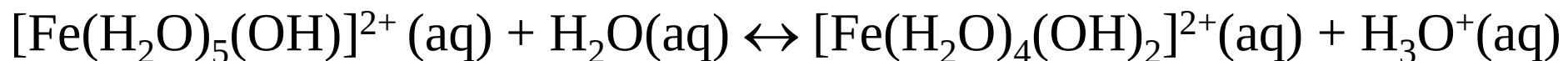


$$K = \beta_2 = \frac{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_2]^{2+}}{[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}[\text{NH}_3]^2} = K_1 \times K_2 = 8,2 \times 10^4$$

25-9 Kompleks İyonların Asit-Baz Tepkimeleri



$$K_{a1} = 9 \times 10^{-4}$$



$$K_{a2} = 5 \times 10^{-4}$$

25-10 Bazı Kinetik Olgular



Ligandları çok hızlı yer değiştirebilen kompleks iyonlara *tepkin (labil)* denir. $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ ve $[\text{CuCl}_4]^{2-}$ hepsi tepkindir.

Ligandları çok yavaş yer değiştiren kompleks iyona *tembel (ya da inert)* denir. Cr(III) ve Co(III) dışındaki birinci seri geçiş metali kompleks iyonları genellikle tepkindir.

25-11 Koordinasyon Kimyasının Uygulamaları

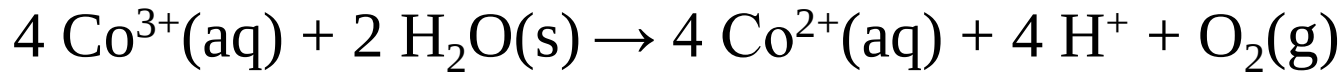
- Hidratlar

- Bir bileşik kendi iyonlarını içeren sulu çözeltiden kristallendirildiğinde genellikle hidrat şeklinde elde edilirler.
- *Hidrat*, her formülünde belirli sayıda su molekülü içeren bir bileşiktir.



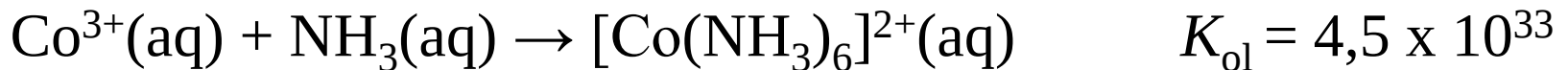
*Tepkin
kompleks
iyonlar*

Yükseltgenme Basamaklarının Kararlılıkları



$$E^{\circ}_{\text{hücre}} = +0,59 \text{ V}$$

Fakat:

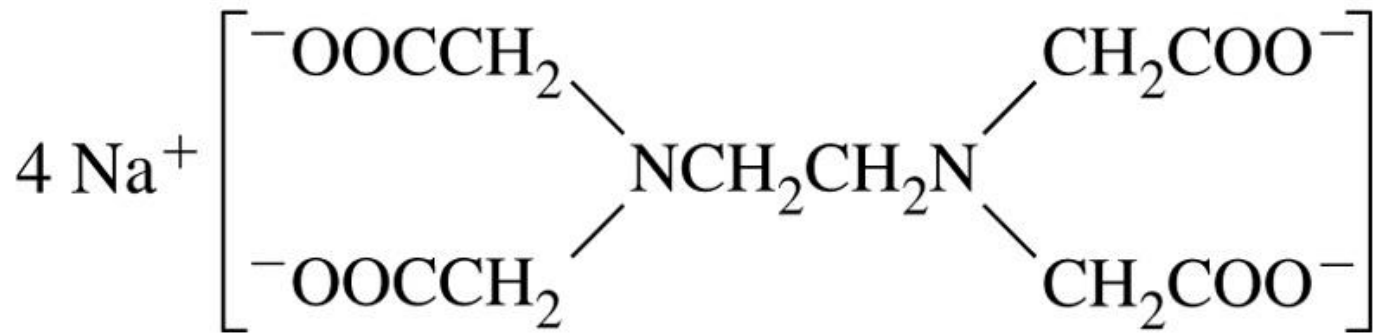


ve

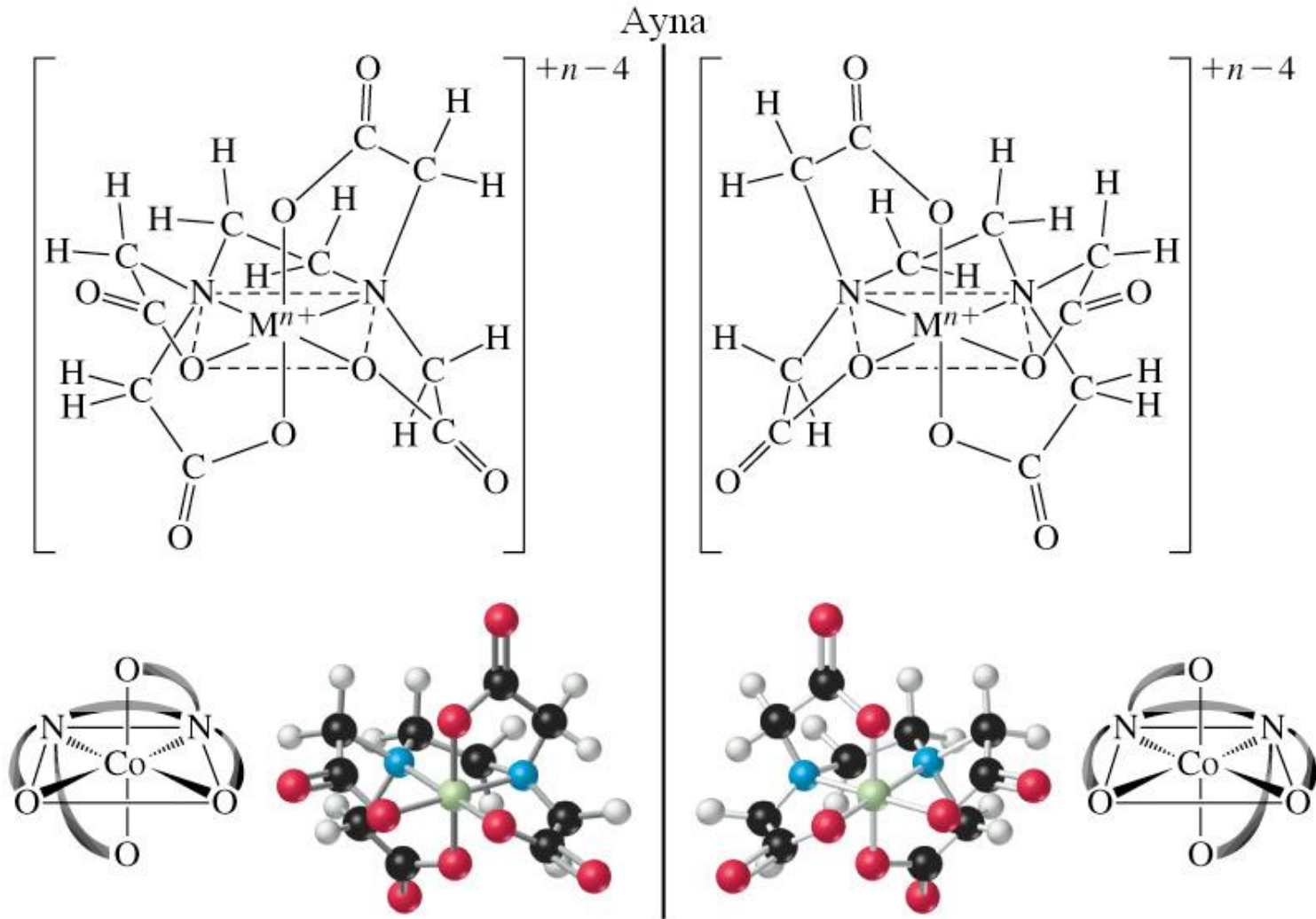


Metal İyonlarının Uzaklaştırılması

- Tetrasodyum EDTA



Metal İyonlarının Uzaklaştırılması



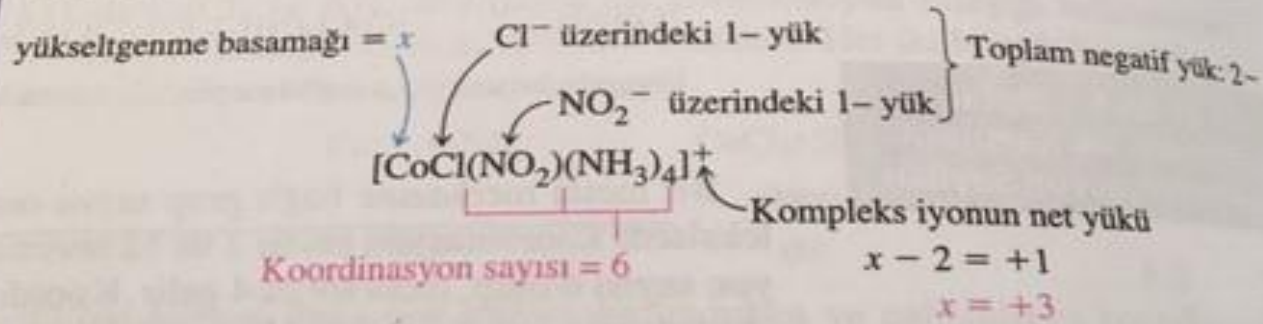
Bir Metal-EDTA Kompleksinin Yapısı

ÖRNEK 25-1

Merkez Atomun Koordinasyon Sayısı ile Yükseltgenme Basamağı Arasındaki İlişkinin Kompleks Formülünden Bulunması. $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]^+$ kompleks iyonunda Co'nun değeri ve koordinasyon sayısı nedir?

Çözüm

Kompleks iyon ligant olarak bir Cl^- , bir NO_2^- ve dört NH_3 molekülü içermektedir. Koordinasyon sayısı 6'dır. Altı liganttan ikisi (Cl^- ve NO_2^- iyonları) -1 'er yük taşımaktadır. Bu kompleks iyonun yüküne katkısı -2 'dir. Kompleks iyonun net yükü $+1$ olduğuna göre merkez kobaltın yükü yani, yükseltgenme basamağı $+3$ olmalıdır. Bu söylenenler, daha iyi anlaşılması için, aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Alıştırma A: $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{3-}$ iyonundaki nikelin yükseltgenme basamağı ve koordinasyon sayısı nedir?

Alıştırma B: Siyanür iyonu ligantları içeren $+3$ yükseltgenme basamağında 6 koordinasyonlu demir iyonu kompleksini yazınız.

ÖRNEK 25-2

Komplekslerin Adları ile Formülleri Arasında İlişki Kurulması. (a) $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]$ kompleksinin adı nedir? (b) Pentaakuaklorokrom(III) klorürün formülü nedir? (c) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ bileşiğinin adı nedir?

Çözüm

- (a) $[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]$ birimi Co^{3+} iyonuna bağlı üç amonyak molekülü ve üç klorür iyonu içerir; nötrdür. Bu nötr kompleksin adı **triammintriklorokobalt(III)** dir.
- (b) Merkez atomu Cr^{3+} dir. Ligant olarak beş H_2O ve bir Cl^- vardır. Kompleks iyon +2 yüklüdür. Bu yükü nötrleştirmek için iki Cl^- iyonu gerekir. Koordinasyon bileşiğinin formülü **$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$** dir.
- (c) Bu bileşik K^+ katyonlarıyla $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ formülündeki kompleks iyonu içermektedir. Her siyanür iyonu -1 yüklü olduğundan demirin değeri +3 dir. Kompleks iyon bir anyondur. Bu nedenle demir yerine latince "ferrat" adı kullanılır. Anyonun adı heksasiyanoferrat (III); koordinasyon bileşiği **potasyum heksasiyanoferrat(III)** dir.

Alıştırma A: Potasyum heksasiyanoplatinat(IV) bileşiğinin formülü nedir?

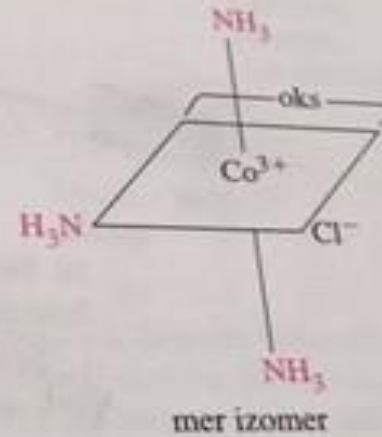
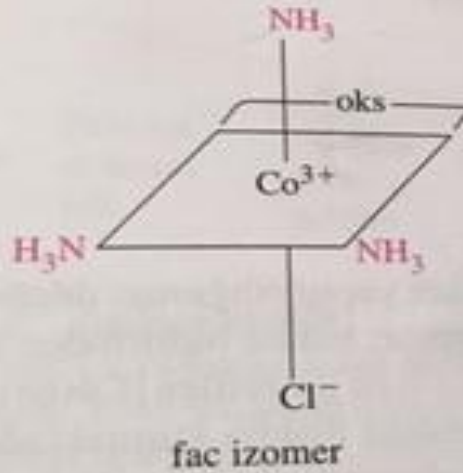
Alıştırma B: $[\text{Co}(\text{SCN})(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$ bileşiğinin adı nedir?

ÖRNEK 25-3

Geometrik İzomerlerin Belirlenmesi. $[\text{CoCl}(\text{oks})(\text{NH}_3)_3]$ kompleksinin olası bütün izomerlerini çiziniz.

Çözüm

Co^{3+} iyonunun koordinasyon sayısı 6'dır. Yapı düzgün sekizyüzlüdür. İki negatif yük taşıyan oks (oksalat iyonu) ikidışlıdır (Çizelge 25-3). Böyle bir ligant trans konumundan bağlanmaktadır. Önce oks ligantı yerleştirilince geriye iki olasılık kalmaktadır. (1) Üç NH_3 molekülü sekizyüzlünün aynı yüzeyindedir (*fac* izomer) ya da (2) sekizyüzlünün çevresindedir (*mer* izomer).



Alıştırma A: $[\text{Co}^{3+}(\text{oks})(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]^-$ nin geometrik izomerlerini çiziniz.

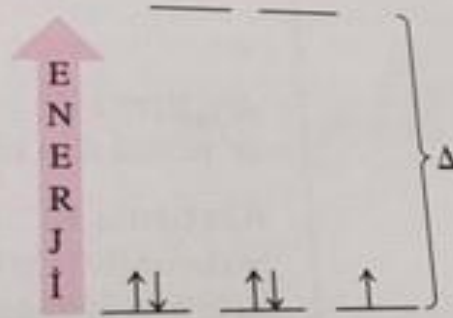
Alıştırma B: $[\text{MoCl}_2(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_2(\text{CO})_2]^+$ nin geometrik izomerlerini çiziniz.

ÖRNEK 25-4

Spektrokimyasal Seriden Yararlanarak Manyetik Özelliklerin Belirlenmesi. Sekizyüzlü $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ kompleksinde kaç tane eşleşmemiş elektron vardır ?

Çözüm

Fe atomunun elektron dizilişi $[\text{Ar}]3d^6 4s^2$ dir. Fe^{3+} iyonu $[\text{Ar}]3d^5$ dizilişine uyar. CN^- kuvvetli alan ligantıdır. Bu nedenle ligantın oluşturduğu d düzeyleri yarılmaya uğruştur. Dolayısıyla bütün elektronlar alt enerji düzeyinde bulunur ve eşleşmemiş tek bir elektron vardır.



Alıştırma A: Sekizyüzlü $[\text{MnF}_6]^{2-}$ kompleksinde kaç tane eşleşmemiş elektron vardır?

Alıştırma B: Dörtüzlü $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ kompleksinde kaç tane eşleşmemiş elektronun olmasını beklersiniz: Sekiz yüzlü $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ deki ile aynı, az ya da daha çok?

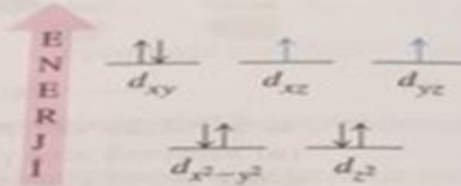
ÖRNEK 25-5

Kristal Alan Kuramını Kullanarak, Bir Kompleksin Manyetik Özelliklerinden Yapısının Belirlenmesi. $[\text{Ni}(\text{CN}_4)]^{2-}$ kompleks iyonunun diyamanyetik olduğu gözlenmiştir. Kristal alan kuramından yararlanarak bu kompleks iyonunun olası yapısını yazınız.

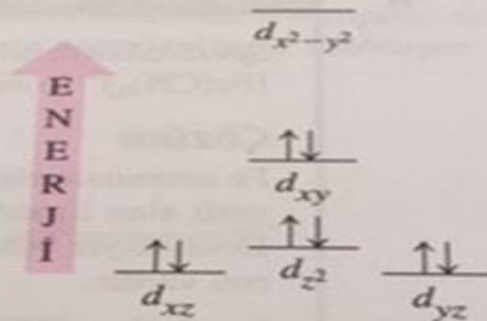
Çözüm

Koordinasyon sayısı 4 (6 değil) olduğuna göre düzgün sekizyüzlü yapı dışlanabilir. Dört-

yüzlü ve kare düzlem arasında bir seçim gerekmektedir. Ni ve Ni^{2+} nin elektron dağılımı sırasıyla $[\text{Ar}]3d^8 4s^2$ ve $[\text{Ar}]3d^8$ dir. Kompleks iyon diyamanyetik özellik gösterdiğine göre tüm $3d$ elektronları eşleşmiş olmalıdır. Yapı düzgün dörtyüzlü olsaydı $3d$ elektronları Şekil 25-13 deki gibi bir dağılım gösterirdi. Dört elektronu en alttaki iki düzeye yerleştirdik. Geride kalan dört elektronu üst düzeydeki üç d orbitaline dağıtmak gerekirdi. Eşleşmemiş iki elektron içereceğinden, kompleks paramanyetik olurdu.



Kare düzlem komplekste, önce alt düzeydeki üç orbital dolar ve d_{xy} ile $d_{x^2-y^2}$ orbitaleri arasındaki fark büyük olduğu için kalan iki elektron d_{xy} orbitaline zıt spinle yerleşir. Bu dağılım diyamanyetizma ile sonuçlanır. $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$ nin olası yapısı kare düzlemidir.



Alıştırma A: $[\text{Co}(\text{CN})_4]^{2-}$ kompleks iyon eşleşmemiş üç elektronuyla paramanyetikdir. Kristal alan kuramını kullanarak olası yapısını belirleyiniz.

Alıştırma B: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ nin diyamanyetik mi, yoksa paramanyetik mi olmasını beklersiniz? $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ yapısının dörtyüzlü ya da kare düzlem olduğunu belirlemede bu bilgiyi kullanabilir misiniz?

ÖRNEK 25-6

Kompleks Renkleriyle Spektrokimyasal Seri Arasındaki İlişki. Çizelge 25-5 e göre $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ menekşe, $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ ise sarı renklidir. Renklerdeki bu farklılığı açıklayınız.

Çözüm

Burada temel özellikleri kullanmalıyız: Çizelge 25-5 deki bütün Cr(II) kompleksleri sekizyüzlüdür ve Cr^{3+} ün elektron dizilişi $[\text{Ar}]3d^3$ dür. Bu gerçeklerden yola çıkarak aşağı-



Bu bileşiklerin hepsi altı koordinasyonlu kobalt kompleks iyonu ile nitrat iyonlarını içermektedir. Her kompleks iyonun beş NH_3 molekülü ve bir başka ligandı vardır.

şıdaki enerji düzeyi diyagramını oluşturabiliriz. Eşleşmemiş üç elektron düşük enerjili d orbitaline girer. Bir ışık fotonu soğurulduğunda alt düzeydeki elektron üst enerji düzeyine uyarılır. Bu uyarma için gerekli enerji miktarı enerji düzeyleri arasındaki farka (Δ) bağlıdır.



Spektrokimyasal seriye göre NH_3 ün oluşturduğu d enerji düzeyi yarınması H_2O nunkinden daha büyüktür. $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ nin $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ dan daha kısa dalga boyulu (yüksek enerjili) ışık soğurması beklenmelidir. $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$, spektrumun menekşe bölgesinde soğuruyorsa yayınlanan ışık sarıdır. $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, spektrumun sarı bölgesini soğuruyorsa yayınlanan ışık menekşedir.

Alıştırma A: $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ nın rengi pembedir. Oysa, dörtyüzlü $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ mavidir. Renklerdeki bu farkı açıklayınız.

Alıştırma B: Aşağıdaki katılardan birisi sarı, diğeri ise yeşil renklidir: $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$; $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$. Hangisinin sarı, hangisinin yeşil olduğunu nedenleriyle belirtiniz.