الفصل السادس

عناصر القطاع-d
d-BLOCK ELEMENTS

يشير مصطلح عناصر القطاع-d إلى الثلاثين عنصراً الموجودة في الأعمدة العشرة (٣-١٢) في الجدول الدوري (داخل الغلاف الخلفي). إنه مصطلح مناسب أيضا لاشتماله على عناصر الخارصين والكادميوم والزئبق، والتي من خواصها أنها مناسبة لأدراجها مع نقاش كيمياء المعادن الانتقالية. يرتبط مصطلح الفلز الانتقالي *transition metal* عادة مع تلك العناصر التي لديها مستوى-d الفرعي والممتلئ جزئيا بإلكترونات في ذراته أو في حالات أكسدة شائعة. وكما يوضح الجدول رقم (٦,١) أنه بموجب هذا التعريف لا يعتبر الخارصين معدناً انتقالياً، وكلٌّ من السكانديوم والنحاس مجرد اختلاف في ترتيب إلكتروني واحد لكلٍّ منهما.

(٦,١) حالة الأكسدة المتغيرة
Variable Oxidation State

بالرغم من أن عناصر القطاع-d متشابهة في عدة نواحٍ مع عناصر القطاعين s و p إلا أن لها ميلاً أكبر لإظهار حالات أكسدة متغيرة. وكمثال، يوجد أربعة فلوريدات من الفانديوم: VF_2 (أزرق)، VF_3 (أخضر-أصفر)، VF_4 (أخضر فاتح)،

obeikandl.com

و VF_5 (عديم اللون). يوضح الجدول رقم (٦,١) الترتيب الإلكتروني لكل عنصر في الصف الأول من القطاع d مع حالات الأكسدة الشائعة له.

الجدول رقم (٦,١). الترتيب الإلكتروني للذرات وحالات الاكسدة الشائعة للعناصر في الصف الأول للقطاع d.

حالة الأكسدة		Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
0	[Ar]	$3d^1 4s^2$	$3d^2 4s^2$	$3d^3 4s^2$	$3d^5 4s^1$	$3d^5 4s^2$	$3d^6 4s^2$	$3d^7 4s^2$	$3d^8 4s^2$	$3d^{10} 4s^1$	$3d^{10} 4s^2$
1	[Ar]										
2	[Ar]		$3d^2$	$3d^3$	$3d^4$	$3d^5$	$3d^6$	$3d^7$	$3d^8$	$3d^9$	$3d^{10}$
3	[Ar]	$3d^0$	$3d^1$	$3d^2$	$3d^3$		$3d^5$	$3d^6$			
4	[Ar]		$3d^0$	$3d^1$							
5	[Ar]			$3d^0$							
6	[Ar]				$3d^0$						
7	[Ar]					$3d^0$					

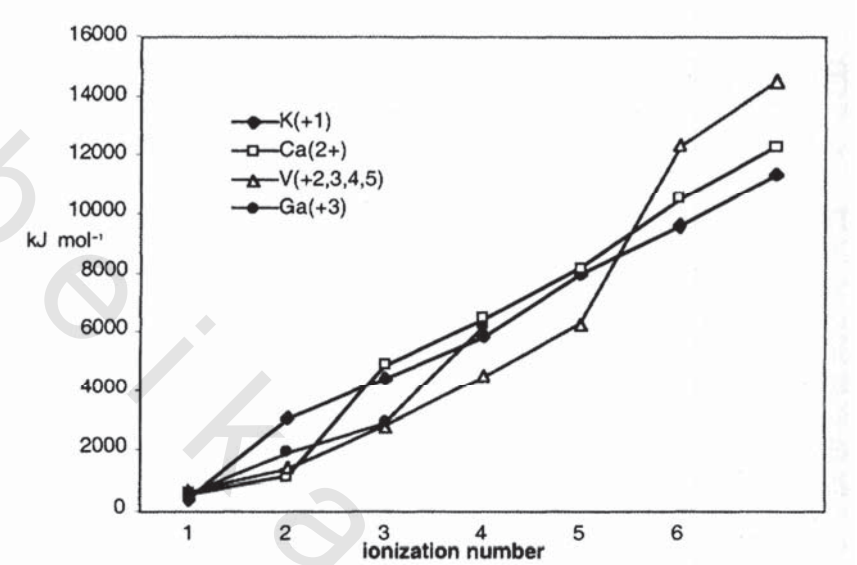
يوضح الشكل رقم (٦,١) أن طاقات التأين المتتالية للمعادن في القطاعين s و p عامة تُظهر قفزة كبيرة عند تشوه الترتيب الإلكتروني للغاز النبيل، وهو ما يحدد حالة أكسدة المعادن في المركبات الأيونية البسيطة. بالنسبة لعناصر القطاع d مثل الفانديوم فإنه بعد فقد إلكترونات 4s، فإن بعض أو كل إلكترونات 3d يمكن إزالتها بنجاح دون قفزة مفاجئة في طاقة التأين.

(٦,٢) العناصر الانتقالية والمركبات الملونة

Transition Elements and Coloured Compounds

إن العديد من مركبات القطاع d، وليس كلها، غير اعتيادية في كونها ملونة. وبالتأكيد في حالات الأكسدة المنخفضة غالباً ما تكون هذه الخاصية مرتبطة بتحت

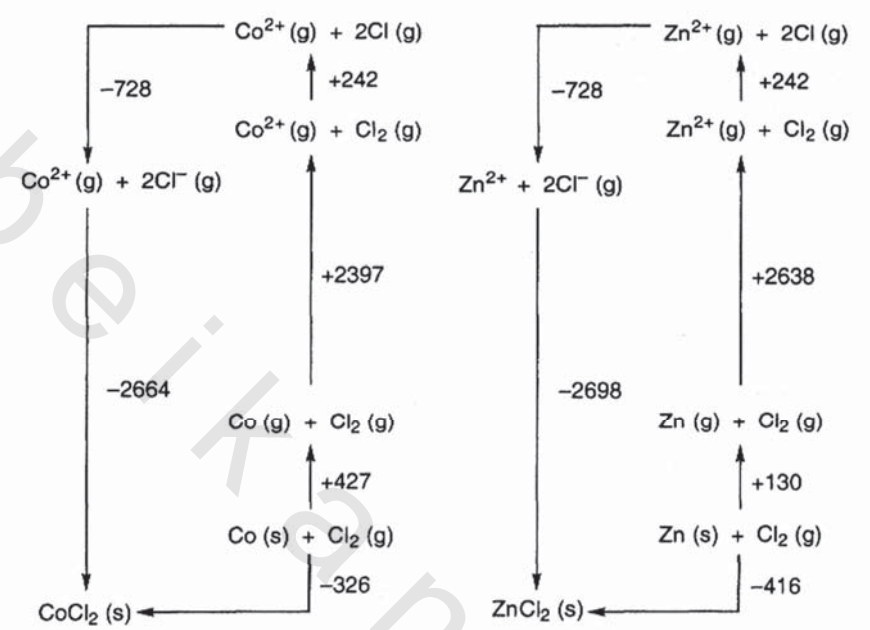
obeikandl.com



الشكل رقم (٦,١). طاقات تأين بعض العناصر. تفاعلات الأكسدة والاختزال لأنواع من معادن القطاع d مذكورة في الفقرة (٦,٧).

الأغلفة d الفرعية التي تمتلئ جزئياً بالإلكترونات. تذكر أن أي عنصر لديه هذا الترتيب إما في الذرة وإما في حالات الأكسدة الشائعة يعتبر فلزاً انتقالياً.

إن الرابطة بين المركبات الملونة ومستوى d الفرعي الممتلئ جزئياً يمكن اكتشافها عن طريق مقارنة تغيرات الطاقة الداخلة في تكوين الكلوريد اللامائي: $CoCl_2$، ذي اللون الأزرق ($3d^7$) و $ZnCl_2$، عديم اللون ($3d^{10}$). توجد دلالة بسيطة لأي اختلاف عند مقارنة دورات بورن-هابر لتكوين المركبات (الشكل رقم ٦,٢). كل كلوريد أكثر استقراراً عن عناصره بفضل طاقة الشبكية الحرارية العالية والناتجة من الانجذاب الشديد بين أيونات M^{2+} و Cl^- في البلورة. لتبدأ بأخذ اللون الأزرق لكلوريد الكوبالت في الانتباه، يجب أن ننتبه إلى التنافر بين الإلكترونات على أيونات المعادن والهاليدات عندما تقترب من بعضها لتكون الشبكية.

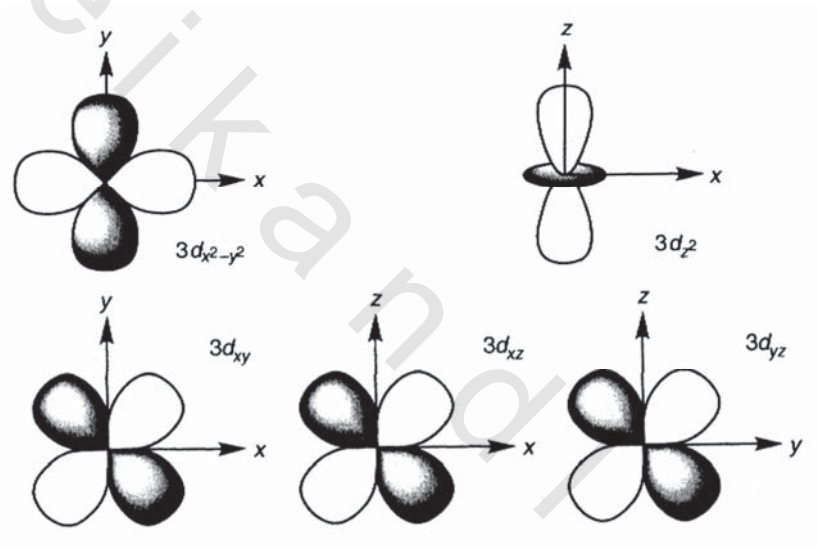


الشكل رقم (٦,٢). دورات بورن–هابر لتكوين الهاليدات $CoCl_2(s)$ و $ZnCl_2(s)$. كل القيم معطاة بوحدة كيلوجول لكل مول.

إذا كانت أيونات Co^{2+} أو Zn^{2+} في الحالة الغازية، فإن جميع مدارات d الخمسة تكون على نفس مستوى الطاقة، ولا يهم في أي الاتجاهات تكون محاور x، y، z. ويتم ترتيب عمل مدارات d الخمسة في الفراغ بالنسبة لبعضها كما هو موضح في الشكل رقم (٦,٣). لا توجد ميزة للطاقة في الإلكترون الموجود في أي مدار معين. في الواقع، بالرغم من أن مدارات d عادة ما ترمز وفقاً للنظام المتناسق الديكارتي (xyz) فلا يوجد للأيون المنعزل أي إحساس بالاتجاه.

ومع ذلك، عندما تتكون الأشكال الشبكية، تعاني إلكترونات d في الكاتيون من تنافر الإلكترونات في الأنيونات المحيطة. وتُرتِّب الإلكترونات الموجودة في المدار d نفسَها في الفراغ لتقلل التنافر بينها، ويتم ذلك لأبعد حد ممكن عن طريق ترتيب

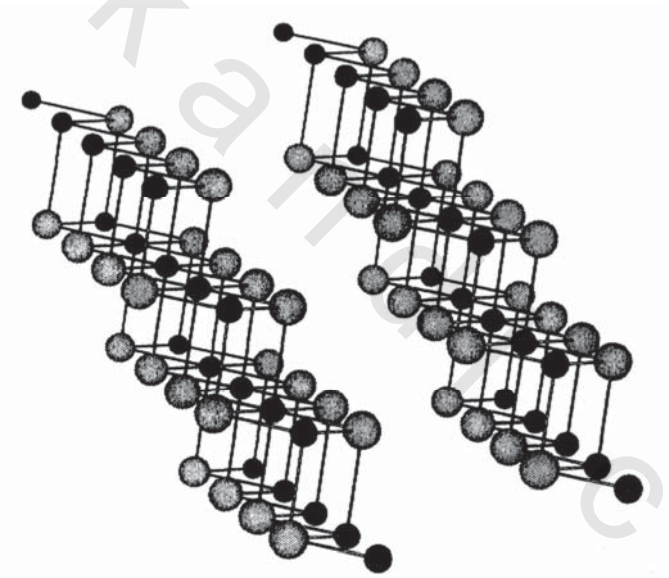
الإلكترونات لنفسها بحيث لا تتجه مباشرة نحو الأنيونات. إنها تميل إلى أن تشغل أماكن في الفراغ موجودة بين الأنيونات. يعتمد نظام توجيه مدارات *d* على الهندسة الفراغية للأنيونات المحيطة في الشبكية، وفي هذه الحالة تُحدد اتجاهات x، y و z؛ لذا تقع الأنيونات على المحاور المتناسقة.



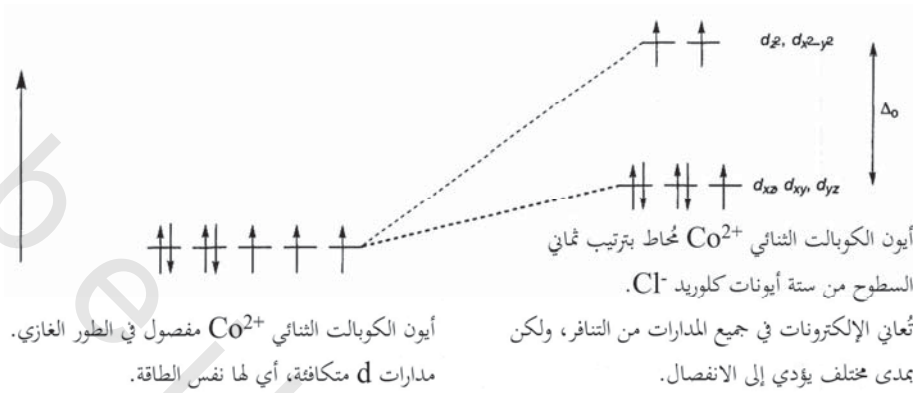
الشكل رقم (٦,٣). مدارات d الخمسة، لاحظ التغيرات في ترميزات المحاور لكل مدار.

في شبكة كلوريد الكوبالت (II) (الشكل رقم ٦,٤) كل أيون Co^{2+} في مركز الترتيب ثماني الأوجه لأنيونات Cl^- الستة. تترتب مدارات d بحيث يتجه مداري d_{z^2} و $d_{x^2-y^2}$ في أيون المعدن نحو أيونات Cl^- مباشرة، وتظل المدارات الباقية d_{xy} و d_{xz} و d_{zy} موجودة بين الأنيونات. لم تعد مدارات d الآن بنفس الطاقة؛ لأن الإلكترونات التي تشغل المدارات التي تشير مباشرة إلى أيونات الكلوريد سوف تعاني من تنافر شديد أكثر من تلك الموجودة في مجموعة المدارات الأخرى. وفي كلوريد الكوبالت (II)

اختلاف الطاقة بين مجموعتي مدارات d والتي يُشار إليها بطاقة فصل المجال البلوري *crystal field splitting energy* في ثماني الأوجه Δ_o، وهي أقل من الطاقة المطلوبة للتغلب على التنافر بين الإلكترونات الموجودة في نفس المدار؛ لذا فإن الترتيب الإلكتروني للحالة المستقرة لإلكترونات d سوف يوضحها الشكل رقم (٦,٥).



الشكل رقم (٦,٤). تركيب الحالة الصلبة لكلوريد الكوبالت $CoCl_2$. لاحظ تركيب الطبقات. كل أيون كوبالت (تظليل مظلم) محاط بستة هاليدات في صف من ثماني الأوجه.



الشكل رقم (٦,٥). تأثير الترتيب الإلكتروني $3d^7$ على أيون الكوبالت Co^{2+} عند تكون الشبكة البلورية في $CoCl_2$.

يمتص كلوريد الكوبالت (II) الضوء المرئي نحو النهاية الحمراء للطيف. الضوء عند هذا الطول الموجي لدية الطاقة المطلوبة لارتقاء الإلكترون من مجموعة مدارات الطاقة المنخفضة إلى الأعلى بمدارات d. الضوء في الحافة الزرقاء للطيف المرئي لا يتم امتصاصه، وهذا الضوء غير الممتص هو السبب في اللون الملحوظ لكلوريد الكوبالت (II).

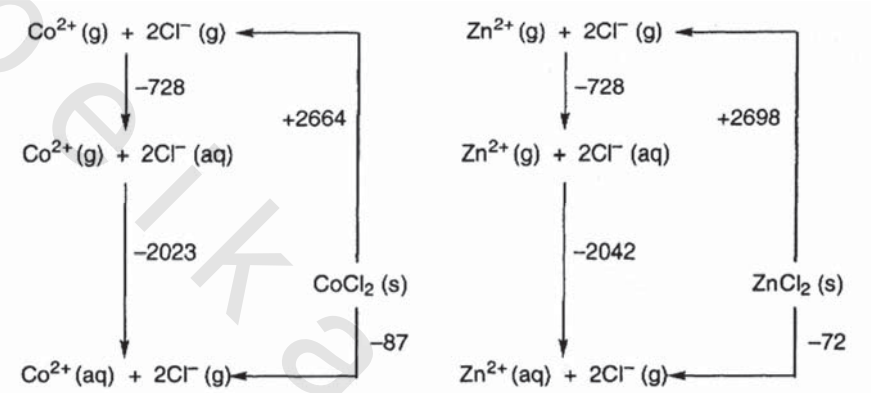
تعاني مدارات d في كلوريد الخارصين من انفصال طاقة المجال البلوري. ومع ذلك، فإن المدارات جميعها مشغولة؛ لذا لا يوجد ترقٍّ في المجموعات السفلية في المدار d لتصل إلى المجموعات الأعلى؛ لذا لا يمتص هذا المركب الضوء المرئي.

(٦,٣) المركبات المائية: إذابة المركب المعدني في الماء

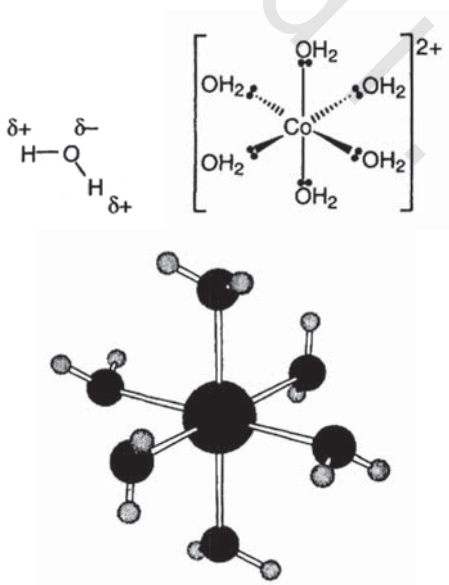
Aqua Complexes: Dissolving a Metal Compound in Water

يذوب كلٌّ من كلوريد الكوبالت (II) وكلوريد الخارصين بتفاعل طارد للحرارة في الماء. وبما أن جزيئات الماء قطبية، فإنها تنجذب مباشرة إلى الأيونات والطاقة الناتجة

عن هذا الاندماج في عملية الهيدرة أكثر من كافية للتغلب على الانجذاب بين الأيونات في الشبكية (الشكل رقم ٦,٦).



الشكل رقم (٦,٦). التغيرات في المحتوى الحراري (الإنثالبي) المصاحب لإذابة $CoCl_2(s)$ و $ZnCl_2(s)$ في زيادة من الماء. كل القيم معطاة بوحدة كيلوجول لكل مول.



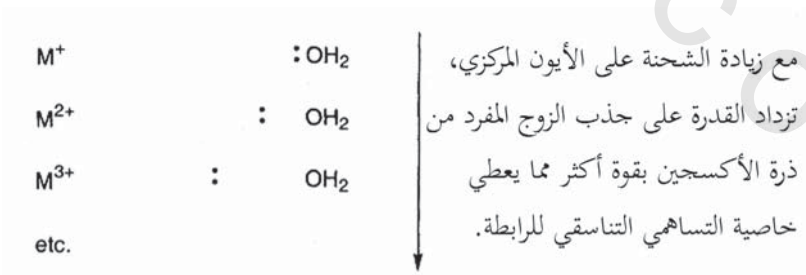
التركيب في $[Co(OH_2)_6]^{2+}$. المتبرعات بالزوج الإلكتروني يشار إليها أيضاً بقواعد لويس، وهي نيكليوفيلية.

obeikandl.com

كما هو متوقع من الفقرة السابقة، فإن محلول كلوريد الخارصين عديم اللون. لكن بالرغم من أن محلول كلوريد الكوبالت (II) ملون بالقرمزي، إلا أنه ليس أزرق مثل حالته الصلبة اللامائية، ويرجع السبب في ذلك إلى التغير في بيئة أيونات Co^{2+} عند الذوبان. ويتم استبدال أيونات الكلوريد المحيطة بأيون الكوبالت في الشبكية الصلبة بجزيئات الماء.

إن ترتيب الذرات الملحقة حول Co(II) لا يزال ثماني الأوجه، لكن تُنتج جزيئات الماء طاقة فصل مجال بلوري أكثر؛ لذا تمتص الضوء ذا الطاقة الكمية الأعلى نحو الحافة الزرقاء من الطيف. أما الضوء في الحافة الحمراء في الطيف المرئي فلا يتم امتصاصه؛ مما يؤدي إلى رؤية اللون القرمزي للمحلول.

جميع أيونات معادن القطاع d متميئة في المحلول المائي، لكنها عادة ما تنتج فصائل لا تكون ملونة إلا إذا كان لديها مجال d فرعي ممتلئ بشكل جزئي. سوف يجذب أيون الفلز المركزي زوج إلكترونات مفرداً من كل جزيء ماء إلى حد معين؛ وبالتالي يعتبر الترابط بينهم من نوع الانجذاب الكهربي الساكن والرابطة التناسقية التساهمية (الشكل رقم ٦,٧).



الشكل رقم (٦,٧). تأثير الترتيب الإلكتروني $3d^7$ في أيون الكوبالت Co^{2+} عند تكون الشبكة البلورية في $CoCl_2$.

إن الأنواع مثل هيدريدات أيون الكوبالت (II) والتي تحتوي على كاتيون مركزي يحيط به أزواج إلكترونات مانحة يشار إليها بالمعقدات، ويطلق على مانح الأزواج الإلكترونية ليجاند *ligand*، وعدد الروابط التناسقية المتكونة هو عدد التناسق *coordination number*. وعند كتابة الصيغة الكيميائية للمعقد فمن المعتاد كتابتها بين أقواس مربعة، على سبيل المثال: $[Co(H_2O)_6]^{2+}$.

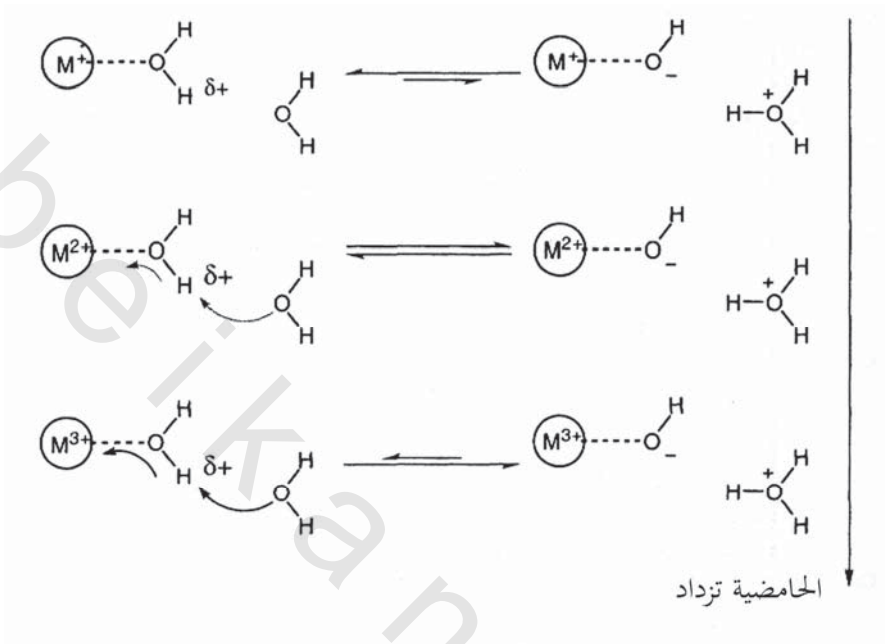
جميع المعادن في الصف الأول من القطاع d لها حالة أكسدة مثل +٢ أو +٣ تُكوِّن معقدات مائية سداسية في المحاليل المائية، وفي عدة حالات يمكن بلورة المواد الصلبة من المحلول المائي، ويظل الأيون المعدني المائي، ويشمل ذلك كلوريد الكوبالت (II) المتبلور القرمزي اللون، ومن الشائع الرمز إليه بـ $CoCl_2.6H_2O$، لكن التمثيل الأكثر تفصيلاً للصيغة هو $[Co(H_2O)_6]Cl_2$.

(٦,٤) حامضية المعقدات المائية
Acidity of Aqua Complexes

جميع الكاتيونات المتميئة أحماض إلى حد ما في المحلول. تنجذب الكثافة الإلكترونية من جزيئات الماء المتناسقة مما يزيد من الشحنة الموجبة الجزئية على ذرات الهيدروجين وهو ما يجعلها عرضة أكثر للهجوم بجزيئات ماء أخرى لتنتج H_3O^+ (مائي) (الشكل رقم ٦,٨).

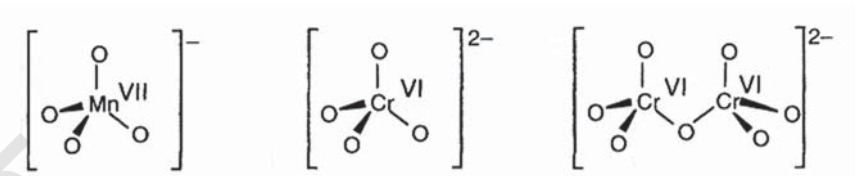
يزداد هذا الميل مع ازدياد كثافة الشحنة على الكاتيون؛ لذا M^{3+} (مائي) أكثر حامضية من M^{2+} (المائي).

لا يمكن أن تحدث تفاعلات التميؤ في الحالة الصلبة، ويفسِّر ذلك وجود بعض أيونات $[M(H_2O)_6]^{3+}$ بألوان مختلفة في الحالة الصلبة عنها في الحالة المائية. وكمثال على ذلك البلورات القرمزية من $Fe(NO_3)_3.9H_2O$ التي تذوب في الماء لتعطي محلولاً أصفر-بنياً.

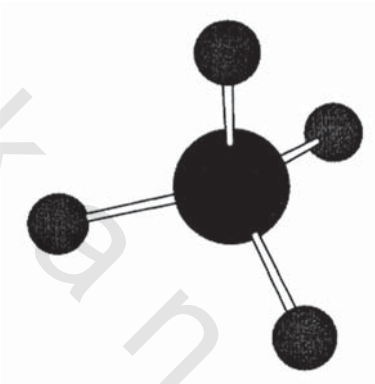


الشكل رقم (٦,٨). زيادة حامضية معقدات المعادن المائية بزيادة الشحنة.

عندما تكون حالة الأكسدة في المعادن أعلى من +٣، يكون انجذاب الإلكترونات على جزيئات الماء المتناسق قوياً جداً لدرجة أنه يمكن فقد ذرتي الهيدروجين؛ وبالتالي فإن المنجنيز (VII) في المحلول المائي يكون المنجنات (VII)، $[MnO_4]^-$ (أو البرمنجنات). وبالرغم من أن المنجنيز في المنجنيز (VII) ليس لديه إلكترونات في d إلا أن المركب $[MnO_4]^-$ بنفسجي غامق، وفي هذه الحالة فإن امتصاص الضوء المرئي يؤدي إلى قفز الإلكترونات من المدار الممتلئ في الليجاند الخارجي إلى المدارات الفارغة في الفلز المركزي. مثل هذه الميكانيكيات لنقل الشحنة *charge transfer* مسئولة أيضاً عن لون الأنواع الأخرى التي تحتوي على معادن القطاع d في حالة الأكسدة العالية، بما في ذلك الكرومات (VI) وثنائي الكرومات (VI) (الشكل رقم ٦,٩).



الشكل رقم (٦,٩). معقدات ملونة بسبب انتقال الشحنة من الليجاند إلى المعدن.



التركيب في أيون $[MnO_4]^-$.

للمركبات المائية السداسية تفاعلات مميزة مع القواعد الأخرى. وكمثال، فإن إضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم إلى $[M(OH_2)_6]^{2+/3+}$ (مائي) دائماً ما ينتج راسباً. تكوين الراسب بهذه الطريقة مؤشر جيد على تكون أنواع متعادلة إلكترونياً. يتكون الراسب كهربياً نتيجة فقد H^+ من العدد اللازم من جزيئات الماء المتناسقة (المعادلة رقم ٦,١ و ٦,٢).

$$[M(OH_2)_6]^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons [M(OH)_2(OH_2)_4](s) + 2H_2O(l) \quad (٦,١)$$

$$[M(OH_2)_6]^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons [M(OH)_3(OH_2)_3](s) + 3H_2O(l) \quad (٦,٢)$$

إن إضافة الحمض تزيح التوازن ناحية اليسار، ويعمل الراسب كقاعدة ويقبل H^+. يذوب الراسب مرة أخرى لتكوين المركب المائي السداسي.

obeikandl.com

في حالات قليلة، تشمل Cr(III) و Zn(II)، إضافة الزيادة من محلول هيدروكسيد الصوديوم يذيب الراسب الابتدائي أيضاً عن طريق إزالة أيونات H^+ لتكون معقد أنيوني *anionic* (المعادلة رقم ٦,٣)، ويطلق على المواد مثل $[Cr(OH)_3(H_2O)_3]$ التي يمكنها أن تقبل أو تمنح H^+ *ambiprotic* (أو متردد *amphoteric*).

$$[Cr(OH)_3(OH_2)_3](s) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons [Cr(OH)_6]^{3-}(aq) + 3H_2O(l) \quad (٦,٣)$$

يقبل أيون الكربونات CO_3^{2-} أيضاً H^+ ليكوِّن الماء وثاني أكسيد الكربون (المعادلة رقم ٦,٤). ومع ذلك، CO_3^{2-} قاعدة أضعف بكثير من OH^- وفقط يحدث هذا التفاعل مع أحماض معتدلة القوة. كما أن إضافة محلول كربونات الصوديوم يعطي راسباً من معقد هيدروكسو *hydroxo complex* المتعادل مع أيون M^{3+} (المائي) غير القابل للذوبان مع زيادة من الكاشف (المعادلة رقم ٦,٥).

$$CO_3^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \rightarrow H_2O(l) + CO_2(g) \quad (٦,٤)$$

$$2[M(OH_2)_6]^{3+}(aq) + 3\,CO_3^{2-}(aq) \rightarrow 2[M(OH)_3(OH_2)_3](s) + 3H_2O(l) + 3CO_2(g) \quad (٦,٥)$$

بالرغم من عدم تصاعد أي غاز عند إضافة محلول كربونات الصوديوم إلى M^{2+} (مائي)، يتكون راسب، وهذه هي كربونات الفلز بدلاً من معقد الهيدروكسو المتعادل (المعادلة رقم ٦,٦).

$$M^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightarrow MCO_3(s) \quad (٦,٦)$$

بداية، على الأقل يتفاعل محلول النشادر المخفف بنفس طريقة هيدروكسيد الصوديوم، معطياً راسب هيدروكسيد متعادل كهربياً لكل من M^{2+} (مائي) و M^{3+} (مائي) (المعادلة رقم ٦,٧ و ٦,٨).

(٦,٧) $$[M(OH_2)_6]^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons [M(OH)_2(OH_2)_4](s) + 2\,NH_4^+(aq)$$

(٦,٨) $$[M(OH_2)_6]^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) \rightleftharpoons [M(OH)_3(OH_2)_3](s) + 3\,NH_4^+(aq)$$

بالرغم من أن النشادر المائية قاعدة غير قوية بما فيه الكفاية لإزالة بروتونات أخري من معقد الهيدروكسو المتعادل، فإن الراسب يذوب عند إضافة زيادة من الكاشف، وهذا يرجع إلى أنه بالإضافة لكونها قاعدة، فإنه يمكن للنشادر أن تتنافس مع الماء كليجاند (يمنح الزوج المفرد من الإلكترونات من ذرة النيتروجين إلى المعدن المركزي) مؤدياً إلى تكوين معقدات مشحونة ذائبة.

(٦,٥) تفاعلات تبادل الليجاند في المعقدات المائية

Ligand Exchange Reactions Involving Aqua Complexes

غالباً ما تذوب معقدات الهيدروكسو المتعادلة في الزيادة من محاليل النشادر المائية بسبب تبادل الليجندات مما ينتج معقدات الأمين الكاتيونية. بما أن جزيئات الماء والنشادر تقريباً لهما نفس الحجم، فإنه لا يوجد تغيير في عدد التناسق (المعادلة رقم ٦,٩). في حالة النحاس (II)، لا تستبدل النشادر المائية جميع جزيئات الماء (المعادلة رقم ٦,١٠).

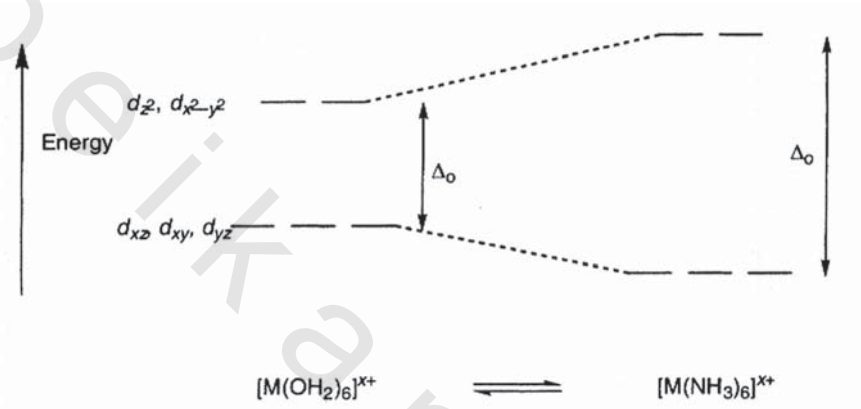
(٦,٩) $$[Cr(OH)_3(H_2O)_3](s) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cr(NH_3)_6]^{3+}(aq) + 3H_2O(l) + 3OH^-(aq)$$

(٦,١٠) $$[Cu(OH)_2(H_2O)_4](s) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(H_2O)(NH_3)_4]^{3+}(aq) + 2H_2O(l) + 2OH^-(aq)$$

لا يذوب كلٌّ من $[Fe(OH)_2(H_2O)_4]$ و $[Fe(OH)_3(H_2O)_3]$ في الزيادة من النشادر المائية. من الواضح أن الحديد لا يكوِّن معقدات أمينية مستقرة في ظل هذه الظروف.

عادة ما يصاحب تبادل الليجاند تغير في اللون. وفي حالة تكوين الأمين، لا يحدث تغير في الشكل الهندسي للمعقد، لكن ليجاندات النشادر عادة ما تكون أفضل في فصل

مدارات d في المعدن عنها في الليجاندات المائية، وهذا يعني أن حزم امتصاص d-d سوف تحدث عند طاقة أعلى، أي في اتجاه المنطقة الزرقاء-البنفسجية (الشكل رقم ٦,١٠).



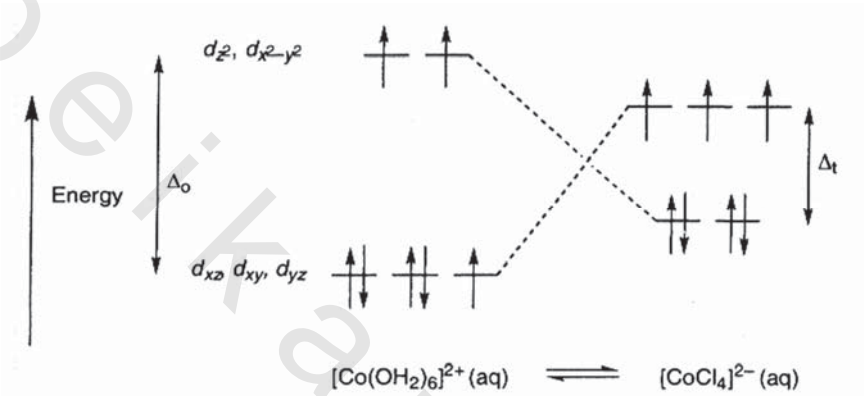
الشكل رقم (٦,١٠). الليجاندات الأمينية تتسبب في انفصال أكبر لمدارات d عنها في الليجاند المائي.

قد تُحدث جزيئات الماء المتناسقة في المعقدات المائية تبادلات مع الليجاندات الأخرى. كما أن إضافة حامض الهيدروكلوريك المركز، على سبيل المثال، غالباً ما ينتج عنها معقد الكلورو رباعي الأسطح *tetrahedral* (المعادلة رقم ٦,١١).

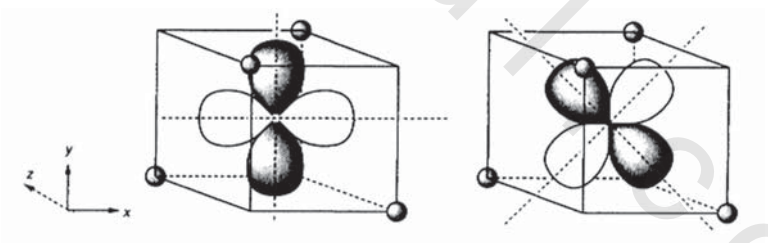
$$[Co(H_2O)_6]^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons [CoCl_4]^{2-}(aq) + 6H_2O(l) \qquad (٦,١١)$$

يمكن تفسير التغير في عدد التناسق هنا من حيث الأحجام النسبية لليجاندات المتنافسة، وحيث إن أيونات الكلوريد أكبر من جزيئات الماء، فإن عدداً قليلاً يمكن أن يتلاءم حول الأيون المعدني المركزي، وحيث إن الشكل الهندسي للمعقد قد تغير فإن نمط فصل مدار d، والذي أحدثته التفاعلات مع إلكترونات الليجاند، يتغير هو الآخر. في حالة المجال البلوري رباعي الأسطح، أقل تنافر إلكتروني يمكن الحصول عليه عند توجيه مجال مدار d الموضح في الشكل رقم (٦,١١)، وفي كلٍّ من مجموعتي مدارات d

لا يشار مباشرة إلى الليجاند (الشكل رقم ٦,١٢)؛ لذا فإن طاقة فصل المعقد رباعي الأسطح، Δ_t، أقل من المعقد ثماني الأسطح، Δ_o.



الشكل رقم (٦,١١). انفصال مدارات d لثماني الأسطح (يساراً) ولرباعي الأسطح (يميناً) في مجال الكوبالت (II).



الشكل رقم (٦,١٢). مدار $d_{x^2-y^2}$ (يساراً) و d_{xy} (يميناً) في مجال رباعي الأسطح.

ينتج تغير اللون من القرمزي إلى الأزرق من إزاحة الامتصاص نحو الطاقة المنخفضة، أي منطقة الطيف الأحمر. وتعود هذه الإزاحة جزئياً إلى التغير في الشكل الهندسي للمعقد، وجزئياً إلى قوى الفصل الأضعف لليجاندات الكلوريد.

obeikandl.com

تسمية المعقدات

توجد قواعد نظامية لتسمية المركبات التناسقية. بعض هذه التقاليد الهامة موضحة أدناه.

١) الأنواع الكاتيونية أو الأنيونية في المعقدات تسمى بكلمة واحدة، حيث تسبق الليجندات أيون المعدن.

٢أ) الليجندات ذات الشحنة السالبة تسمى قبل الليجندات المتعادلة، وفي كل مجموعة تدرج الليجندات بالترتيب الأبجدي.

٢ب) أسماء ليجندات الأيونات سالبة الشحنة تنتهي بحرف الواو مثل Cl^- هو كلورو. عادة ما تكون الليجندات المتعادلة أسماء عادية. تشمل الاستثناءات الليجاند الشائع H_2O الذي يطلق عليه مائي *aqua* و NH_3 الذي يطلق عليه أمين *amine*.

٢ج) عدد كل نوع من الليجاند غالباً ما يشار إليه المقاطع :

١-	أحادي	mono-
٢-	ثنائي	di-
٣-	ثلاثي	tri-
٤-	رباعي	tetra-
٥-	خماسي	penta-
٦-	سداسي	hexa-

٣) إذا كان للمعقد شحنة سالبة إجمالاً يكون لاسم المعدن نهاية ate، والصيغة اللاتينية تستخدم غالباً في هذه الحالة، الحديد (الفيرات)، والنحاس (الكوبرات)، والفضة (الأرجينتات). تكتب حالة أكسدة المعدن بالأعداد الرومانية، بين أقواس، بعد اسمه.

obeikandl.com

٤) في المركبات الأيونية، يسمى الأيون الموجب قبل الأيون السالب بغض النظر عما إذا كان معقداً.

بالرغم من أن هذه القواعد قد تبدو معقدة، إلا أن الأمثلة التالية سوف توضح عملياً أنها سهلة التطبيق.

$[Ni(OH_2)_6]Cl_2$	يحتوي على $[Ni(OH_2)_6]^{2+}$ و $2Cl^-$. يسمى الكاتيون في البداية ثم يليه الأنيون: سداسي الماء كلوريد النيكل (II). لاحظ الفراغ بين الأيونين، وأنه لا توجد حاجة إلى تحديد عدد أيونات الكلوريد.
$[Fe(OH)_3(OH_2)_3]$	مركب متعادل؛ لذا له اسم مكون من كلمة واحدة: ثلاثي الماء ثلاثي هيدروكسو الحديد (III)، لاحظ أن الليجندات مدرجة بالترتيب الأبجدي بغض النظر عن المقطع الأول.
$Na_2[CoCl_4]$	يحتوي على $2Na^+$ و $[CoCl_4]^{2-}$، ويسمى الكاتيون أولاً ثم يليه المعقد الأنيوني: رباعي كلورو كوبالتات (II) الصوديوم، لاحظ أن ate هي نهاية أيونات المعقد سالبة الشحنة.

(٦,٦) أنواع الليجاند

Types of Ligand

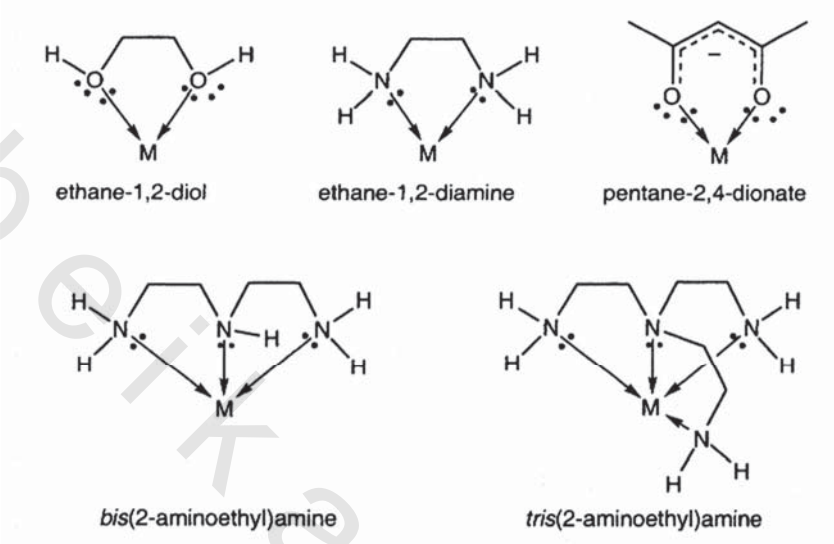
العديد من الليجندات البسيطة التي ذكرت في الأجزاء السابقة تحوي أكثر من زوج مفرد وحيد من الإلكترونات (الشكل رقم ٦,١٣). بالرغم من أن هذه الأنواع تعمل كجسر عن طريق التبرع بزوج من الإلكترونات لاثنين من أيونات المعدن في أيون ثنائي الكرومات (VI) (الشكل رقم ٦,٩)، إلا أنه يشار إليها بأحادية السن، حيث إنه يمكن لذرة واحدة فقط أن تتبرع بزوج مفرد إلكتروني.

obeikandl.com

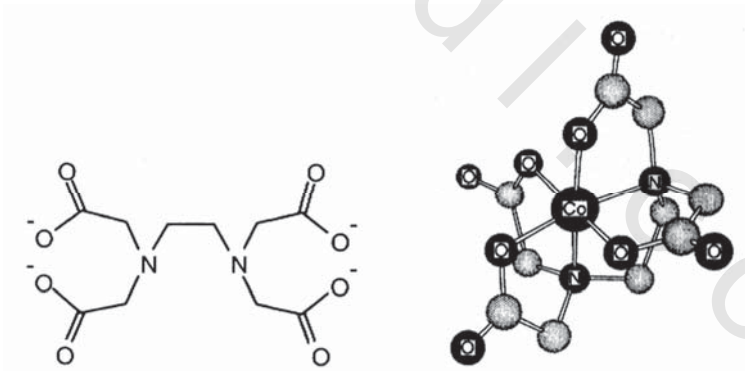
الشكل رقم (٦,١٣). بعض الليجاندات بها أكثر من زوج إلكتروني مفرد واحد.

بالرغم من ذلك، بعض الليجاندات تحتوي على ذرتين أو أكثر يمكنها أن تعمل كمانحة لأزواج مفردة إلكترونية، ويوضح الشكل رقم (٦,١٤) أمثلة على هذه الليجاندات ثنائية وثلاثية ورباعية السن. إن أيون المعدن الذي يقبل زوجين أو أكثر من الإلكترونات من نفس الليجاند يصبح مشتركاً داخل نظام حلقي يعرف بالمخلبيات. وهذه المعقدات عامة أقل عرضة لتفاعلات التبادل عن المعقدات غير المخلبية *non-chelates* وذلك لأنه يجب كسر رابطتين تناسقيتين أو أكثر في نفس الوقت لإطلاق الليجاند. وهكذا، فإن أنيون الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخل *Ethylenediamine tetraacetic acid* (EDTA) الذي يمكنه المنح حتى ستة أزواج إلكترونية لأيون فلزي واحد، يُكوِّن أشكالاً من المعقدات غاية في الاستقرار من النوع الموضح في الشكل رقم (٦,١٥).

بالرغم من أنها لا تملك أي أزواج مفردة، تعمل الألكينات كليجاندات عن طريق منح زوج من إلكترونات الرابطة π، كما في الأيون $[PtCl_3(C_2H_4)]^-$ (الشكل رقم ٦,١٦). الجزيئات التي تحتوي على حلقة غير متمركزة من إلكترونات π مثل البنزين يمكنها أيضاً أن تعمل كليجاندات. مثال على ذلك في جزيئات "الساندويتش" من ثنائي بنزين الكروم $[Cr(C_6H_6)_2]$ والفيروسين (الشكل رقم ٦,١٧).

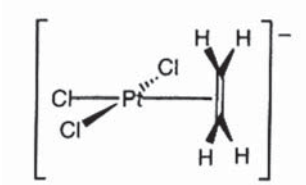


الشكل رقم (٦,١٤). بعض الليجاندات المتعددة السن.



الشكل رقم (٦,١٥). التركيب في بيس [ثنائي{(كربوكسى ميثيل)-أمينو] إيثان-الرباعي الأنيون (يعرف مشاعاً باسم EDTA) والتركيب في معقد الكوبالت مع EDTA.

obeikandl.com



الشكل رقم (٦,١٦). الأيون $[PtCl_3(C_2H_4)]^-$.

الشكل رقم (٦,١٧). جزيئات الساندويتش من الفيروسين (يساراً) وثنائي بنزين الكروم (يميناً).

(٦,٧) الجهود القياسية، E^o، وتفاعلات الأكسدة والاختزال

Standard Potentials, E^o, and Redox Reactions

توضح هذه الفقرة مصطلح جهود القطب القياسية *standard electrode potentials* وتوضح كيف أنها تستخدم لتوقع مسارات تفاعلات الأكسدة والاختزال. تشمل تفاعلات الأكسدة والاختزال انتقال الإلكترونات. أي نوع يفقد إلكتروناً يقال عليه أنه تأكسد، بينما الذي يكتسب الإلكترونات يُقال عليه أنه اختُزل. لا يمكن أن تحدث أي عملية منهما منعزلة عن الأخرى بل يجب أن تحدث في نفس الوقت.

وعندما يُغمر الفلز في محلول من أيوناته، يحدث توازن بين الأكسدة والاختزال (المعادلة رقم ٦,١٢).

$$M^{x+}(aq) \rightleftharpoons M(s) \qquad (٦,١٢)$$

وكلما كان المعدن (M) أفضل في التخلي عن إلكتروناته، أصبحت الشحنة السالبة أعلى أثناء وصول المعدن الصلب لحالة التوازن.

لا يمكن قياس جهد قطب الأكسدة والاختزال بمفرده، لكن يمكن قياس فرق الجهد بين أي قطبين أثناء تشغيل الخلية الكيميائية. ومثل أي توازن آخر، سوف يعتمد وضع نظام الأكسدة والاختزال على الظروف المختارة. يمكن تعريف الجهد القياسي لأي نظام بالجهد المقاس بالنسبة لقطب الهيدروجين (المعادلة رقم ٦,١٣) عند ٢٥° م و١ ضغط جوي ومع جميع التراكيز المائية التي تساوي مولار واحد.

نظام قطب الهيدروجين: $H^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 0.5H_2(g)$ (٦,١٣)

كلما زادت القيمة السالبة لجهد القطب القياسي، سهل على النظام أن يفقد الإلكترونات؛ ومن ثم تزداد قدرته الاختزالية (تضعف قدرته على الأكسدة)؛ لذا يمكننا استخدام قيم E_o لتخمين مسار التفاعلات التي تتضمنها توازنات الأكسدة والاختزال.

على سبيل المثال، اعتبر أن إضافة معدن المغنيسيوم إلى حامض الكبريتيك المخفف. توضح المعادلة رقم (٦,١٤) و (٦,١٥) نظامي الأكسدة والاختزال الداخلة في هذا التفاعل.

$$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mg(s) \qquad E^o = -2.38\ V \qquad (٦,١٤)$$

$$H^+(aq) + e^- \rightleftharpoons 0.5H_2(g) \qquad E^o = 0.00\ V \qquad (٦,١٥)$$

وعندما يتصل النظامين ببعضهم، تتدفق الإلكترونات كلما أمكن من النظام السالب أكثر (المعادلة رقم ٦,١٤) إلى الموجب أكثر (المعادلة رقم ٦,١٥).

$$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Mg(s) \qquad E^o = -2.38\ V$$

تدفق الإلكترونات ↓

$$H^+(aq) + e^- \rightleftharpoons 0.5H_2(g) \qquad E^o = 0.00\ V$$

وهذا سوف يخل بتوازن الأكسدة والاختزال أعلاه، وتحدث التفاعلات منتجة أيونات المغنيسيوم المائية وغاز الهيدروجين:

$$Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$$
$$H^+(aq) + e^- \rightarrow 0.5H_2(g)$$

وللحصول على المعادلة العامة من الضروري التأكد من أن عدد الإلكترونات المنطلقة بواسطة العامل المختزل مساوٍ لعدد الإلكترونات المقبولة بواسطة العامل المؤكسد. وفي هذه الحالة يتم الوصول إلى هذا التوازن عن طريق مضاعفة القيم في المعادلة رقم (٦,١٥).

$$Mg(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$$
$$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$$
$$Mg(s) + 2H^+(aq) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + H_2(g) \qquad \text{المعادلة الكلية}$$

لذا، من المتوقع في هذه الحالة حدوث تفاعل بين المغنيسيوم وحامض الكبريتيك المخفف، بالرغم من أن هذا يصلح فقط إلا في الأحوال التي تُقاس فيها جهود القطب المعيارية، والآن اعتبر إضافة معدن النحاس إلى حامض الكبريتيك المخفف. وتعطي المعادلة رقم (٦,١٦) و (٦,١٧) التفاعلين موضع السؤال.

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s) \qquad E^o = +0.34\ V \qquad (٦,١٦)$$

$$H^+(aq) + e^- \rightleftharpoons 0.5H_2(g) \qquad E^o = 0.00\ V \qquad (٦,١٧)$$

في هذه الحالة، من المتوقع تدفق الإلكترونات من نظام الهيدروجين السالب أكثر إلى نظام النحاس.

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s) \qquad E^o = +0.34\ V$$

تدفق الإلكترونات ↓

$$H^+(aq) + e^- \rightleftharpoons 0.5H_2(g) \qquad E^o = 0.00\ V$$

تُعطى التفاعلات المتوقعة أدناه، والتفاعل العام هو مجموعها. لذا؛ لن يتفاعل معدن النحاس مع H^+ (المائي) في ظل الظروف القياسية. في الحقيقة، من المتوقع حدوث العملية العكسية، وهي اختزال Cu^{2+} بواسطة الهيدروجين.

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$$
$$H_2(g) \rightarrow 2H^+(aq) + 2e^-$$
$$Cu^{2+}(aq) + H_2(g) \rightarrow Cu(s) + 2H^+(aq) \qquad \text{المعادلة الكلية}$$

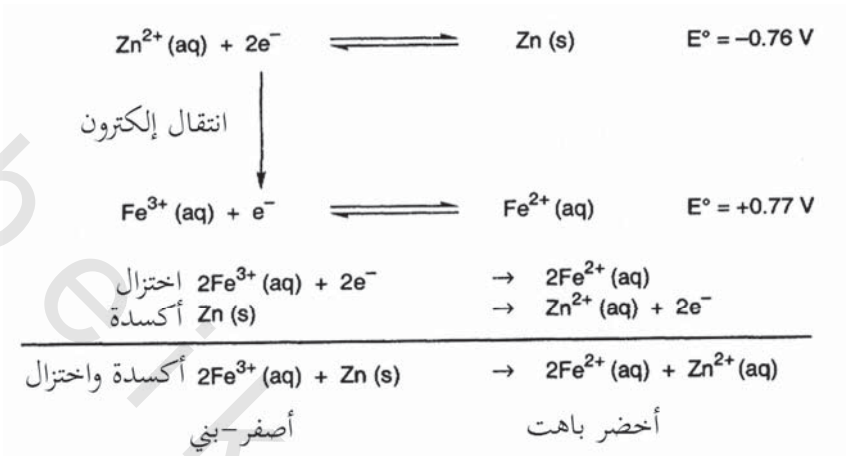
(٦,٨) تفاعلات الأكسدة والاختزال والأثر الحفزي

Redox Reactions and Catalytic Action

غالباً ما تُختزل العناصر الانتقالية ذات حالات الأكسدة المرتفعة في المحاليل الحامضية عن طريق العوامل الحفازة مثل معدن الخارصين. على سبيل المثال، عند إضافة الخارصين إلى محلول يحتوي على أيون الحديد الثلاثي Fe^{3+} (مائي)، فإن النتيجة اختزاله لتكوين أيون الحديد الثنائي Fe^{2+} (مائي) (الشكل رقم ٦,١٨). ينتج تغير اللون في هذا التفاعل من تغير عدد الإلكترونات الساكنة في المدارات d. وكما هو الحال مع تبادل الليجاند، فإن اللون المميز يتغير في تفاعل الأكسدة والاختزال، ويمكن استخدامه في التحليل الكيميائي.

إذا كان المعدن قادراً على إظهار حالات أكسدة مختلفة فإن التغيرات في اللون قد تشير إلى الاختزال المتعاقب. بالنسبة للفانديوم (V) لُوحظ التتابع التالي عند الاختزال مع معدن الخارصين:

$VO_3^-(aq)$	$\rightarrow$ $VO^{2+}(aq)$	$\rightarrow$ $V^{3+}(aq)$	$\rightarrow$ $V^{2+}(aq)$	
+5	+4	+3	+2	عدد الأكسدة
أصفر باهت	أزرق فاتح	أخضر	بنفسجي	



الشكل رقم (٦,١٨). اختزال Fe^{3+} (مائي) إلى Fe^{2+} (مائي) بواسطة الخارصين.

إذا أمكن فصل المحلول النهائي الناتج عن الخارصين وسُمح له بالبقاء في الهواء، فإنه يتحول إلى اللون الأزرق الفاتح دلالة على أن +٤ هي أكثر حالات أكسدة الفاناديوم استقراراً في ظل هذه الظروف، كما أن اختزال محلول ثنائي الكرومات (VI) بالخارصين يحدث كما يلي:

$$Cr_2O_7^{2-}(aq) \rightarrow Cr^{3+}(aq) \rightarrow Cr^{2+}(aq)$$

عدد الأكسدة: +6 +3 +2

برتقالي أخضر أزرق سماوي

(تأكسد بفعل الهواء) (أكثر استقراراً في الهواء)

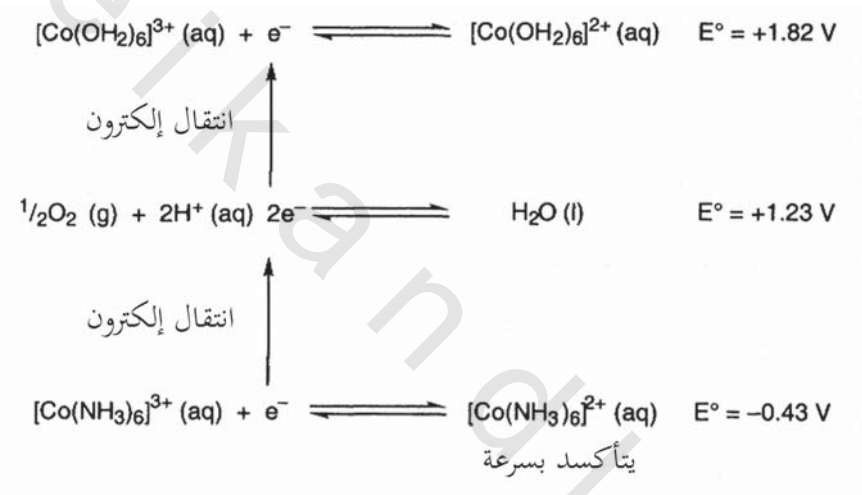
لا تكون حالات الأكسدة الوسطية ملحوظة دائماً. على سبيل المثال، يُختزل محلول المنجنيز (VII) الحامضي بقوة مباشرة إلى المنجنيز (II):

$$MnO_4^-(aq) \rightarrow Mn^{2+}(aq)$$

عدد الأكسدة: +7 +2

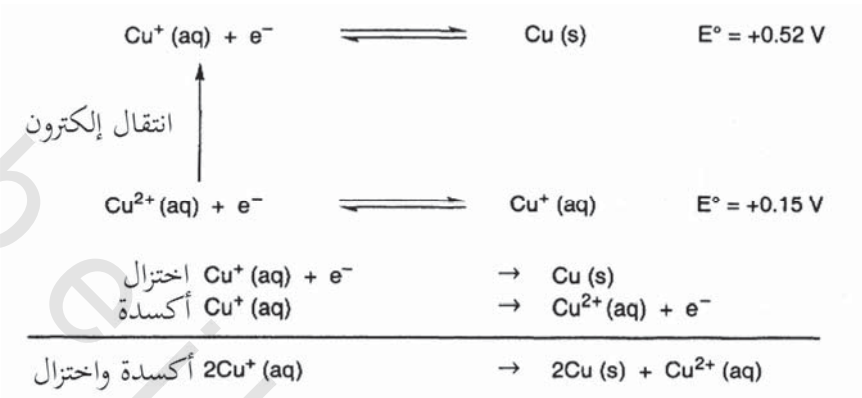
بنفسجي غامق عديم اللون غالباً (الأكثر استقراراً)

بالرغم من أن حالات الأكسدة "الأكثر استقراراً" معروفة في المعادلات السابقة، إلا أنه يجب ملاحظة أنها يمكن أن تعتمد على الظروف أو نوع الليجاند. وبالتالي، فإن $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ مستقر تماماً في الهواء، بينما $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ متأكسد بالفعل في ظل نفس الظروف (الشكل رقم ٦,١٩).

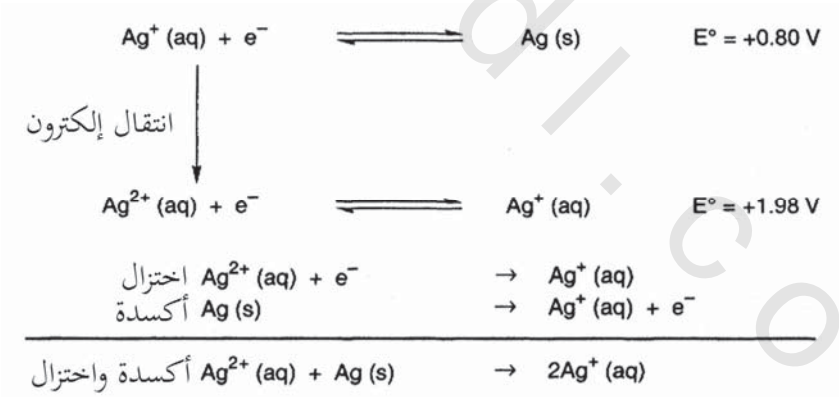


الشكل رقم (٦,١٩). الثبات النسبي في $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ و $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ في الهواء.

يشمل عدم التناسب *Disproportionation* الأكسدة الذاتية والاختزال. على سبيل المثال، يذوب أكسيد النحاس (I) في الحامض المخفف ليعطي معدن النحاس وأيون Cu^{2+} (مائي) (الشكل رقم ٦,٢٠). بينما الفضة (I) مستقرة في المحلول المائي (الشكل رقم ٦,٢١). توجد تفاعلات الأكسدة والاختزال أيضاً عندما تعمل مركبات المعادن الانتقالية كعوامل حفازة. على سبيل المثال، يتأكسد اليوديد إلى اليود بواسطة فوق الكبريتات في المحلول المائي (الشكل رقم ٦,٢٢).

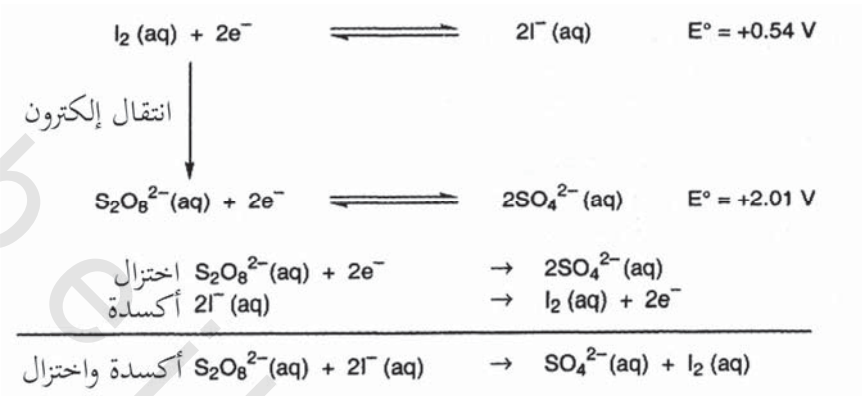


الشكل رقم (٦,٢٠). عدم التناسب في Cu(I).



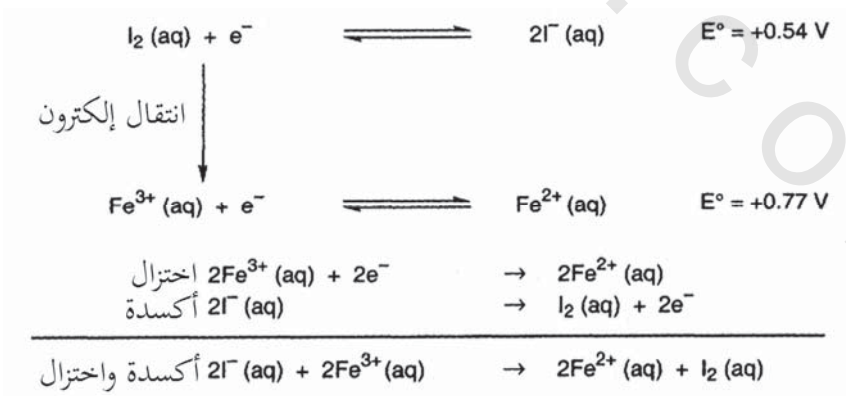
الشكل رقم (٦,٢١). لا يحدث عدم التناسب في Ag(I).

obeikandl.com

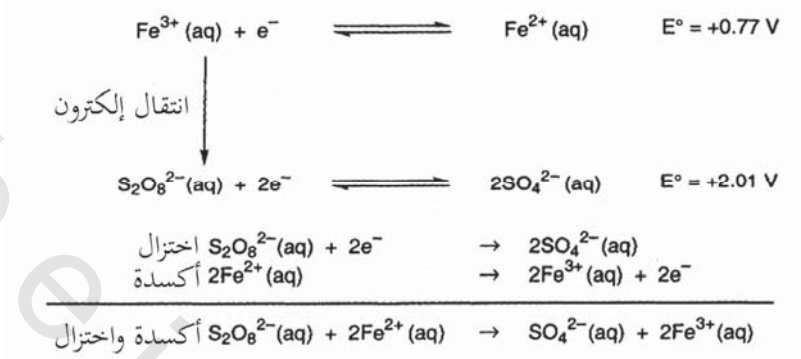


الشكل رقم (٦,٢٢). أكسدة اليوديد بواسطة فوق الكبريتات في المحلول المائي.

على الرغم من أنه مفضل جداً أن يكون التفاعل بطيئاً جداً ؛ لأن الشحنة السالبة على كل الأنواع سوف تؤدي إلى تنافر متبادل كلما اقتربت من بعضها. ومع ذلك، إضافة الكميات الصغيرة من Fe^{3+} (مائي) تسرع التفاعل بشكل درامي عن طريق توفير مسار تفاعل بديل. تشمل الخطوة الأولى أكسدة اليوديد بواسطة الحديد (III) (الشكل رقم ٦,٢٣)، ثم يختزل فوق الكبريتات بواسطة الحديد (II) المتكون (الشكل رقم ٦,٢٤).



الشكل رقم (٦,٢٣). أكسدة اليوديد بواسطة الحديد (III) في المحلول المائي.



الشكل رقم (٦,٢٤). اختزال فوق الكبريتات بواسطة الحديد (II) في المحلول المائي.

يعمل الحديد كوسيط في انتقال الإلكترون من I^- إلى $S_2O_8^{2-}$، وحيث إنه يسرع من التفاعل ويتكون مرة أخرى، فإن Fe^{3+} (مائي) يعمل كعامل حفاز. وبالطبع، فإن Fe^{2+} (مائي) يمكن أن يكون له فعالية مساوية.

قبل ترك موضوع الأكسدة والاختزال، تجدر الإشارة إلى تحضير الحديد من الكلوريدات اللامائية $FeCl_2$ و $FeCl_3$. مرة أخرى، تعتبر الظروف مهمة في تحديد أي منتج سيتكون. فإذا سُخِّن الحديد في بخار من الكلور، فإن الطبيعة المؤكسدة للهالوجين تعني إنتاج الكلوريد الأعلى (المعادلة رقم ٦,١٨). ويمكن أن يُختزل إلى كلوريد الحديد (II) بتسخينه في بخار الهيدروجين (المعادلة رقم ٦,١٩).

$$2Fe(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2FeCl_3(s) \qquad (٦,١٨)$$

$$2FeCl_3(s) + H_2(g) \rightarrow 2FeCl_2(s) + 2HCl(g) \qquad (٦,١٩)$$

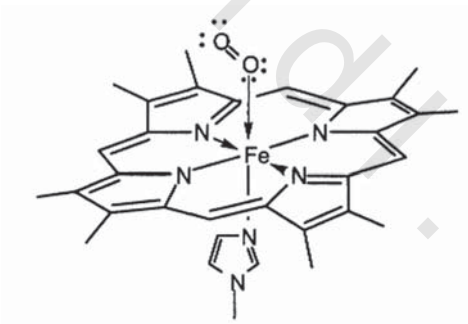
يمكن تحضير كلوريد الحديد (II) مباشرة من المعدن عن طريق تسخينه في بخار غاز كلوريد الهيدروجين، ويضمن الهيدروجين الناتج أيضاً تكوّن حالة أكسدة أقل (المعادلة رقم ٦,٢٠).

$$Fe(s) + 2HCl(g) \rightarrow FeCl_2(s) + H_2(g) \qquad (٦,٢٠)$$

obeikandl.com

(٦,٩) بعض مركبات القطاع d الهامة
Some Important d-Block Compounds

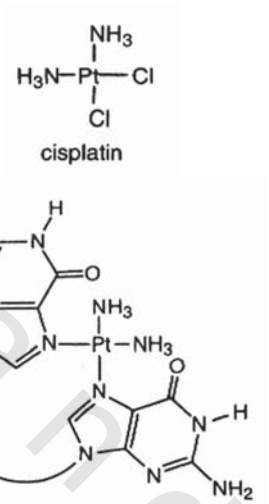
في المكان المتاح هنا يمكن فقط إعطاء نكهة لأهمية وتنوع استخدامات مركبات القطاع d. يمكن القول إن الحياة الحيوانية نفسها تعتمد على معقدات المعادن الانتقالية مثل الهيموجلوبين *haemoglobin*. هذا الجزيء، الذي يحتوي على Fe^{2+} في مركز مجموعة الهيم رباعية السن يعمل كحامل للأكسجين في الدم عن طريق قبول زوج وحيد مفرد من إلكترونات O_2 (الشكل رقم ٦,٢٥). يعتبر أول أكسيد الكربون ساماً؛ لأنه يتحد بقوة أكثر مع الحديد عنه في جزيء الأكسجين. المرضى الذين يعانون من أنواع معينة من فقر الدم تتم معالجتهم بأقراص تحتوي على كبريتات الحديد (II) التي ترفع مستويات الحديد في الدم.



الشكل رقم (٦,٢٥). طبيعة الهيموجلوبين موضحة تناسق ثنائي الأكسجين.

إن أكثر العقاقير المضادة للسرطان نجاحاً ليست جزيئات عضوية معقدة، بل هي معقدات مربعة السطح من البلاتين. لم يكن اكتشاف الخواص المضادة للسرطان في السيس بلاتين متوقعاً بشكل كبير، وظهر من البحث العلمي في تأثير المجالات الكهربية

على المحاليل التي تحتوي على بكتيريا حية. تم اختيار البلاتين للأقطاب الكهربية حيث إنه معدن خامل ؛ ولذا من غير المحتمل أن يؤثر على النتائج.

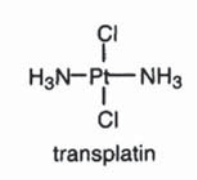


المتماكب سيس *cis* فقط له الشكل الصحيح ليرتبط بنفسه بالجوانينات المجاورة لسلسلة الحمض النووي بهذه الطريقة

الشكل رقم (٦,٢٦). ترابط البلاتين لشطر من الجزيء الحيوي DNA.

وُجد أنه بالرغم من أن الخلايا الفردية تنمو بشكل طبيعي، إلا أن تكوّن خلايا جديدة بالانقسام مثبّط. وبعد استهلاك جميع المتغيرات الممكنة في التجربة التي قد تكون سبب هذا التأثير استنتج الباحثون أنه ربما تفاعل البلاتين مع المحلول وأنتج مركباً كيميائياً جديداً يتدخل في انقسام الخلايا. وجدوا كميات صغيرة جداً (حوالي ١٠ أجزاء في المليون) من السيس بلاتين مع نظيره الترانس بلاتين (ليجاندات الكلوريد في مواجهة بعضها بدلاً من أن تكون متجاورة). أثبتت أبحاث أخرى أنه على العكس من السيس بلاتين، ليس للترانس بلاتين أي تأثير على انقسام الخلايا.

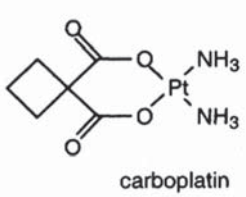
obeikandi.com



transplatin

حيث إن الأورام تنتج عن الانقسام غير المتحكم فيه للخلايا السرطانية، فمن المعقول أن يكون السيس بلاتين علاجاً فعالاً إذا تم حقنه مباشرة في الورم. وتأكد ذلك بالتجارب، والعقار الآن شائع ودواء فعَّال في سرطان الخصية بشرط أن يتم التشخيص مبكراً بوقت كافٍ.

بالرغم من أنه شديد الفعالية، إلا أن السيس بلاتين سام، وله آثار جانبية غير مرغوب فيها. وشجع ذلك البحث العلمي على فحص خواصه المضادة للسرطان ليتمكنوا من تطوير بدائل أكثر أماناً. يبدو أن السيس بلاتين يفقد ليجاندي الكلوريد ثم يتحد في موضع معين (ذرات N-7 مع ذرات الجوانين المجاورة) على سلسلة الحمض النووي DNA (الشكل رقم ٦,٢٦). في أكثر من ٢٠٠٠ مركب ذي صلة، تم إجراء تجارب طبية، ويستخدم الكاربو بلاتين حالياً في العيادات. يحافظ ذلك على ترتيب سيس *cis* لجزيئات NH_3 في السيس بلاتين، لكنه يستبدل ليجاندات الكلوريد بمجموعة عضوية. إنه بنفس فعالية السيس بلاتين، لكنه أقل سمية.



carboplatin

obeikandi.com

في الفقرة الأخيرة، تم توضيح أهمية حالة الأكسدة المتغيرة في التفاعلات المحفزة لمركبات الفلزات الانتقالية. في العملية المتصلة بتصنيع حامض الكبريتيك يستخدم أكسيد الفاناديوم (V) كعامل حافز غير متجانس لأكسدة ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت، وفي التفاعل بدون استخدام العامل المساعد (المعادلة رقم ٦,٢١) يتأكسد ثاني أكسيد الكبريت إلى ثالث أكسيد الكبريت. أما في التفاعل المحفَّز يتخلى خامس أكسيد الفاناديوم عن الأكسجين لثاني أكسيد الكبريت (المعادلة رقم ٦,٢٢) قبل أن يتأكسد مرة ثانية بفعل الأكسجين (المعادلة رقم ٦,٢٣).

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2SO_3(g) \quad (٦,٢١)$$

$$2SO_2(s) + 2V_2O_5(s) \rightarrow 2SO_3(g) + 2V_2O_4(s) \quad (٦,٢٢)$$

$$2V_2O_4(s) + O_2(g) \rightarrow 2V_2O_5(s) \quad (٦,٢٣)$$

تتكون أفلام التصوير أحادية اللون من مستحلب بروميد الفضة على خلفية بلاستيكية. عندما يتعرض إلى الضوء تتحلل بعض هاليدات الفضة إلى عناصرها (المعادلة رقم ٦,٢٤).

$$2AgBr(s) \rightarrow 2Ag(s) + Br_2(g) \quad (٦,٢٤)$$

يحسِّن "المظهر" هذه العملية في المناطق التي يتعرض فيها الفيلم إلى الضوء منتجاً صورة سوداء مرئية "النيجاتيف" لمعدن الفضة. عند هذه المرحلة قد يتسبب التعرض الأكثر لسواد الفيلم؛ لذا من المهم إزالة هاليد الفضة غير المتغير. يتم تثبيت الفيلم بمعالجته بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3$ الذي يحول هاليد الفضة غير الذائب إلى المعقد $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$، وحيث إن لها شحنة كهربية كلية فإنها تذوب في الماء ويغسل من خلفيته، تاركاً صورة الفضة المعدنية وراءه.

openkanar.com

obeikandl.com

مراجع للقراءة
FURTHER READING

1. Mingos, D.M.P. (1998). *Essential trends in inorganic chemistry*. Oxford University Press, Oxford, UK.
2. Sanderson, R.T. (1962). *Chemical Periodicity*. Reinhold, New York, USA.
3. Mingos, D.M.P. (1995). *Essential trends in inorganic chemistry 1*. Oxford University Press, Oxford, UK.
4. Nomran, N.J. (1997). *Periodicity as the s- and p-block elements*. Oxford University Press, Oxford, UK.
5. Winter, M.J. (1994). *Chemical bonding*. Oxford University Press, Oxford, UK.
6. Winter, M.J. (1994). *d-Block chemistry*. Oxford University Press, Oxford, UK.
7. WebElements [http://www.webelements.com/] — the periodic table on the WWW.
8. Housecroft, C.E. and Constable, E.C. (1997). *Chemistry – an integrated approach*. Addison Wesley Longman, Essex, UK.
9. Huheey, J.E., Keiter, E.A., and Keiter, R.L. (1993). *Inorganic chemistry – principles of structure and reactivity* (4th edn). Harper International, New York, USA.
10. Shriver, D.F., Atkins, P.W., and Langford, C.H. (1990). *Inorganic chemistry*, Oxford University Press, Oxford, UK.
11. Atkins, P. (1995). *The periodic kingdom*, HarperCollins, New York, USA.
12. Rispoli, P. and Andrew, J. (1999). *Chemistry in focus*. Hodder & Stoughton, UK.
13. Jolly, W.L. (1991). *Modern inorganic chemistry*, McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
14. Butler, I.S. and Harrod, J.F. (1989). *Inorganic chemistry – principles and applications*, Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc., Redwood City, California, USA.
15. Rossoti, H. (1998). *Diverse atoms – profiles of the chemical elements*. Oxford University Press, Oxford, UK.

openkimia.com

16. Mackay, K.M. and Mackay, R.A. (1989). *Introduction to modern inorganic chemistry* (4th edn). Blackie, London, UK.
17. Porterfield, W.W. (1984). *Inorganic chemistry – A unified approach*. Addison Wesley, Reading, MA, USA.
18. Cotton, F.A., Wilkinson, G. and Gauss, P.L. (1987). *Basic inorganic chemistry* (2nd edn). John Wiley and Sons, New York, USA.
19. Purcell, K.F., and Kotz, J.C. (1985). *Inorganic chemistry* (Int. Edn). Holt Saunders, Japan.

obeikandl.com

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي–إنجليزي

أ

اتجاهات دورية	Periodic trends
الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية	IUPAC
الأحماض والقواعد	Acids and bases
أحماض وقواعد لويس	Lewis acids and bases
أشكال جزيئات القطاع p	Shapes of p-block molecules
أكسدة واختزال	Redox
الألفة الإلكترونية	Electron affinity
إلكترونات	Electrons
انتقال الشحنة	Charge transfer
الانحلال الإشعاعي	Radioactive decay
الأوزون	Ozone
الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخل	EDTA

obeikandl.com

ب

بارا مغناطيسي	Paramagnetism
بروتونات	Protons
بنيكتوجينات	Pnictogens
بوكمينستر فوليرين	Buckminsterfullerence

ت

تأثير التزاوج الخامل	Inert pair effect
تبادل الليجاند	Ligand exchange
ترانس بلاتين	Transplatin
تنافر الزوج الإلكتروني لغلاف التكافؤ (فسيبر)	Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR)
تهجين sp^2	sp^2 hybrid

ث

ثلاثيات	Triads
ثماني الأسطح	Octahedral
ثنائي بنزين الكروم	Dibenzenechromium

ج

جهود القطب القياسي	standard electrode potentials

ح

حالات الأكسدة	Oxidation states
الحجم الأيوني	Ionic size
حزم امتصاص d-d	d-d absorption bands

obeikandl.com

Sulphuric acid	حمض الكبريتيك
Nitric acid	حمض النيتريك

خ

Downs cell	خلية داونز

د

Bond order	درجة الرابطة
Doberiner	دوبرينر
Born-Haber cycle	دورة بورن–هابر

ذ

Atoms	الذرات

ر

Ionic bonding	ربط أيوني
Covalent bonding	ربط تساهمي
Metallic bonding	ربط فلزي

ز

Glass	زجاج

س

Electronegativity	السالبية الكهربية
Cisplatin	سيس بلاتين

obeikandl.com

ش

شبه فلزي	Metalloid
شكل ثلاثي الزوايا	Trigonal geometry
شكل ثلاثي الزوايا ثنائي الهرم	Trigonal bipyramidal geometry
شكل خطي	Linear geometry
شكل رباعي السطوح	Tetrahedral geometry

ص

الصورة المتأصلة	Allotropism

ط

طاقة التأين	Ionization energy
طاقة الشبكية	Lattice energy
طاقة فصل المجال البلوري	Crystal field splitting energy

ع

عدد التناسق	Coordination number
عدد الكم	Quantum number
عدد الكم الرئيسي	Principal quantum number
عدد الكم المغزلي	Spin quantum number
عناصر شبه فلزية	Semi-metallic elements

غ

غازات نبيلة	Noble gases

obeikandl.com

ف

Monel metal	فلز المونيل
Transition metal	فلز انتقالي
Alkali metals	الفلزات القلوية
Alkaline earth metals	الفلزات القلوية الأرضية
Flurospar	فلوروسبار
Ferrocene	فيروسين

ق

Hydrogen electrode	قطب الهيدروجين
Reducing power	قوة الاختزال
Oxidizing power	قوة الأكسدة

ك

Chalcogens	كالجوجينات
Sulphur	الكبريت
Electron density	الكثافة الإلكترونية
Cabroplatin	كربوبلاتين
Quartz	كوارتز

ل

Ligands	ليجاندات
Tridendate ligands	ليجاندات ثلاثية السن
Didentate ligands	ليجاندات ثنائية السن

obeikandl.com

Tetradentate ligands	ليجاندات رباعية السن

م

Water	ماء
Meyer	ماير
Chelates	مخلبيات
Orbitals	مدارات
d orbitals	مدارات d
Hybrid orbitals	مدارات مهجنة
Aqua complexes	معقدات مائية
Mendeleev	مندليف

ن

Ammonia	نشادر
Metallic radius	نصف قطر فلزي
Isotopes	نظائر
Bohr model	نموذج بوهر
Neutrons	نيوترونات
Newlands	نيولاند

هـ

Halogens	هالوجينات
Hybrides	هيدريدات
Haemoglobin	هيموجلوبين

obeikandl.com

و

الوزن الذري	Atomic weight

obeikandl.com

ثانياً: إنجليزي–عربي

A

Acids and bases	الأحماض والقواعد
Alkali metals	الفلزات القلوية
Alkaline earth metals	الفلزات القلوية الأرضية
Allotropism	الصورة المتأصلة
Ammonia	نشادر
Aqua complexes	معقدات مائية
Atomic weight	الوزن الذري
Atoms	الذرات

B

Bohr model	نموذج بوهر
Bond order	درجة الرابطة
Born-Haber cycle	دورة بورن–هابر
Buckminsterfullerence	بوكمينستر فوليرين

C

Cabroplatin	كربوبلاتين
Chalcogens	كالجوجينات
Charge transfer	انتقال الشحنة
Chelates	مخلبيات
Cisplatin	سيس بلاتين
Coordination number	عدد التناسق
Covalent bonding	ربط تساهمي

openkandl.com

Crystal field splitting energy	طاقة فصل المجال البلوري

D

d orbitals	مدارات d
d-d absorption bands	حزم امتصاص d-d
Dibenzenechromium	ثنائي بنزين الكروم
Didentate ligands	ليجندات ثنائية السن
Doberiner	دوبرينر
Downs cell	خلية دونز

E

EDTA	الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخل
Electron affinity	الألفة الإلكترونية
Electron density	الكثافة الإلكترونية
Electronegativity	السالبية الكهربية
Electrons	إلكترونات

F

Ferrocene	فيروسين
Flurospar	فلوروسبار

G

Glass	زجاج

H

Haemoglobin	هيموجلوبين
Halogens	هالوجينات
Hybrid orbitals	مدارات مهجنة
Hybrides	هيدريدات

obeikandl.com

Hydrogen electrode	قطب الهيدروجين

I

Inert pair effect	تأثير التزاوج الخامل
Ionic bonding	ربط أيوني
Ionic size	الحجم الأيوني
Ionization energy	طاقة التأين
Isotopes	نظائر
IUPAC	الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية

L

Lattice energy	طاقة الشبكية
Lewis acids and bases	أحماض وقواعد لويس
Ligand exchange	تبادل الليجاند
Ligands	ليجندات
Linear geometry	شكل خطي

M

Mendeleev	مندليف
Metallic bonding	ربط فلزي
Metallic radius	نصف قطر فلزي
Metalloid	شبه فلزي
Meyer	ماير
Monel metal	فلز المونيل

N

Neutrons	نيوترونات

obeikandl.com

Newlands	نيولاند
Nitric acid	حمض النيتريك
Noble gases	غازات نبيلة

O

Octahedral	ثماني الأسطح
Orbitals	مدارات
Oxidation states	حالات الأكسدة
Oxidizing power	قوة الأكسدة
Ozone	الأوزون

P

Paramagnetism	بارا مغناطيسي
Periodic trends	اتجاهات دورية
Pnictogens	بنيكتوجينات
Principal quantum number	عدد الكم الرئيسي
Protons	بروتونات

Q

Quantum number	عدد الكم
Quartz	كوارتز

R

Radioactive decay	الانحلال الإشعاعي
Redox	أكسدة واختزال
Reducing power	قوة الاختزال

S

Semi-metallic elements	عناصر شبه فلزية

openkandl.com

Shapes of p-block molecules	أشكال جزيئات القطاع p
sp^2 hybrid	تهجين sp^2
Spin quantum number	عدد الكم المغزلي
Standard electrode potentials	جهود القطب القياسي
Sulphur	الكبريت
Sulphuric acid	حمض الكبريتيك

T

Tetradentate ligands	ليجندات رباعية السن
Tetrahedral geometry	شكل رباعي السطوح
Transition metal	فلز انتقالي
Transplatin	ترانس بلاتين
Triads	ثلاثيات
Tridendate ligands	ليجندات ثلاثية السن
Trigonal bipyramidal geometry	شكل ثلاثي الزوايا ثنائي الهرم
Trigonal geometry	شكل ثلاثي الزوايا

V

Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR)	تنافر الزوج الإلكتروني لغلاف التكافؤ (فسيبر)

W

Water	ماء

opeikandi.com

كشاف الموضوعات

أ

اتجاهات دورية ١٢
الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية ٣
الأحماض والقواعد ٥٥
أحماض وقواعد لويس ١٠٨
أشكال جزيئات القطاع p ٩٩
أكسدة واختزال ١٦٠
الألفة الإلكترونية ١٦
إلكترونات ١
انتقال الشحنة ١٥٠
الانحلال الإشعاعي ٣
الأوزون ١٢٧
الإيثيلين ثنائي الأمين رباعي حمض الخل ١٥٥

ب

بارا مغناطيسي ١٢٦
بروتونات ٢
بنيكتوجينات ١٢٠
بوكمينستر فوليرين ١١٧

ت

تأثير التزاوج الخامل ٩٨
تبادل الليجاند ١٥٣
ترانس بلاتين ١٦٨
تنافر الزوج الإلكتروني لغلاف التكافؤ (فسيبر) ٩٩
تهجين sp^2 ٣٩

obeikandl.com

ث

ثلاثيات ١٠

ثماني السطوح ١٠١

ثنائي بنزين الكروم ١٦٠

ج

جهود القطب القياسي ٧٨، ١٦٠

ح

حالات الأكسدة ١٣٩

الحجم الأيوني ٩٥

حزم امتصاص d-d ١٥٢

حمض الكبريتيك ٦٠

حمض النيتريك ٦٢

خ

خلية دونز ٧١

د

درجة الرابطة ٣٣

دوبرينر ١٠

دورة بورن–هابر ٣١

ذ

الذرات ١

ر

ربط أيوني ٢١

ربط تساهمي ٢١

ربط فلزي ٢١

ز

زجاج ١١٦

س

السالبية الكهربية ١٦

سيس بلاتين ١٦٨

ش

شبه فلزي ١٢

obeikandl.com

شكل ثلاثي الزوايا ١٠١
شكل ثلاثي الزوايا ثنائي الهرم ١٠١
شكل خطي ١٠٠
شكل رباعي السطوح ١٠١

ص

الصورة المتأصلة ١٢٧

ط

طاقة التأين ١٤
طاقة الشبكية ٢٨
طاقة فصل المجال البلوري ١٤٤

ع

عدد التناسق ٢٦
عدد الكم ٧
عدد الكم الرئيسي ٧
عدد الكم المغزلي ٧
عناصر شبه فلزية ١٢

غ

غازات نبيلة ١٣١

ف

فلز المونيل ١٢٨
فلز انتقالي ١٣٩
الفلزات القلوية ٦٥
الفلزات القلوية الأرضية ٦٥
فلوروسبار ١٢٨
فيروسين ١٦٠

ق

قطب الهيدروجين ١٦١
قوة الاختزال ١٦١
قوة الأكسدة ١٦١

ك

كالجوجينات ١٢٦
الكبريت ١٢٨
الكثافة الإلكترونية ٥

obeikandl.com

كربوبلاتين ١٦٨
كوارتز ١١٩

ل

ليجاندات ١٥٤
ليجاندات ثلاثية السن ١٥٤
ليجاندات ثنائية السن ١٥٥
ليجاندات رباعية السن ١٥٥

م

ماء ١٠٥
ماير ١٠
مخلبيات ١٥٥
مدارات ٥
مدارات d ١٤٣
مدارات مهجنة ٣٧
معقدات مائية ١٤٦
مندليف ١٠

ن

نشادر ١٠٦
نصف قطر فلزي ٢٦
نظائر ٢
نموذج بوهر ٣
نيوترونات ٢
نيولاند ١٠

هـ

هالوجينات ١٣٠
هيدريدات ٤٧
هيموجلوبين ١٦٦

و

الوزن الذري ٣

obeikandl.com

1 IA IA	2 IIA IIA	3 IIIA IIIB	4 IVA IVB	5 VA VB	6 VIA VIB	7 VIIA VIIB	8 VIIIA VIIIB	9 VIIIA VIIIB	10 VIIIA VIIIB	11 IB IB	12 IIB IIB	13 IIIB IIIA	14 IVB IVA	15 VB VA	16 VIB VIA	17 VIIB VIIA	18 VIIIB VIIIA
1 **H** 1.008																1 **H** 1.008	2 **He** 4.003
3 **Li** 6.941	4 **Be** 9.012											5 **B** 10.811	6 **C** 12.011	7 **N** 14.007	8 **O** 15.999	9 **F** 18.998	10 **Ne** 20.180
11 **Na** 22.990	12 **Mg** 24.305											13 **Al** 26.982	14 **Si** 28.086	15 **P** 30.974	16 **S** 32.066	17 **Cl** 35.453	18 **Ar** 39.948
19 **K** 39.098	20 **Ca** 40.078	21 **Sc** 44.956	22 **Ti** 47.88	23 **V** 50.942	24 **Cr** 51.996	25 **Mn** 54.938	26 **Fe** 55.847	27 **Co** 58.933	28 **Ni** 58.693	29 **Cu** 63.546	30 **Zn** 65.39	31 **Ga** 69.723	32 **Ge** 72.61	33 **As** 74.922	34 **Se** 78.96	35 **Br** 79.904	36 **Kr** 83.80
37 **Rb** 85.468	38 **Sr** 87.62	39 **Y** 88.906	40 **Zr** 91.224	41 **Nb** 92.906	42 **Mo** 95.94	43 **Tc** (97.907)	44 **Ru** 101.07	45 **Rh** 102.906	46 **Pd** 106.42	47 **Ag** 107.868	48 **Cd** 112.411	49 **In** 114.818	50 **Sn** 118.710	51 **Sb** 121.757	52 **Te** 127.60	53 **I** 126.904	54 **Xe** 131.29
55 **Cs** 132.905	56 **Ba** 137.327	57–71	72 **Hf** 178.49	73 **Ta** 180.948	74 **W** 183.84	75 **Re** 186.207	76 **Os** 190.23	77 **Ir** 192.22	78 **Pt** 195.08	79 **Au** 196.967	80 **Hg** 200.59	81 **Tl** 204.383	82 **Pb** 207.2	83 **Bi** 208.980	84 **Po** (208.982)	85 **At** (209.987)	86 **Rn** (222.018)
87 **Fr** (223.020)	88 **Ra** 226.025	89–103	104 **Rf** (261)	105 **Db** (262)	106 **Sg** (266)	107 **Bh** (262)	108 **Hs** (265)	109 **Mt** (266)	110 **–** (271)	111 **–** (272)	112 **–** (277)						

57 **La** 138.906	58 **Ce** 140.115	59 **Pr** 140.908	60 **Nd** 144.24	61 **Pm** (144.917)	62 **Sm** 150.36	63 **Eu** 151.965	64 **Gd** 157.25	65 **Tb** 158.925	66 **Dy** 162.50	67 **Ho** 164.93	68 **Er** 167.26	69 **Tm** 168.934	70 **Yb** 173.04	71 **Lu** 174.967
89 **Ac** 227.028	90 **Th** 232.038	91 **Pa** 231.036	92 **U** 238.029	93 **Np** 237.048	94 **Pu** (244.064)	95 **Am** (243.061)	96 **Cm** (247.070)	97 **Bk** (247.070)	98 **Cf** (251.080)	99 **Es** (252.083)	100 **Fm** (257.095)	101 **Md** (258.10)	102 **No** (259.101)	103 **Lr** (262.11)