شارح: خواص وتفاعلات الحديد وأكاسيده

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف خواص وتفاعلات الحديد وأكاسيده.

يُعَد الحديد العنصر الانتقالي الأكثر وفرةً في القشرة الأرضية، وهو من الفلزات المهمة للغاية للمجتمع. وعلى الرغم من أن الحديد قد يبدو واسع الانتشار من حولنا، فإنه نادرًا ما يُستخدَم في صورة فلز نقي، بل تُستخدم كميات كبيرة من الحديد المستخرَج من خاماته في صناعة الكثير من السبائك المختلفة. وتشمل سبائك الحديد الأكثر شيوعًا الأنواع المختلفة للصلب الذي له خواص متعدِّدة وعدد كبير من الاستخدامات. ولكن ليس للحديد النقي أهمية كبيرة صناعيًّا؛ نظرًا لكونه لينًا ومنخفض الصلادة نسبيًّا.

الحديد النقي قابل للطرق والسحب، وله خواص مغناطيسية، وينصهر عند درجة 1 538°C، وكثافته تساوي $7.87\ \text{g/cm}^3$ في صورته الصلبة. تعتمد الخواص الفيزيائية الدقيقة للحديد النقي على النقاء النهائي للفلز، فأيُّ شوائب متبقية من الخام المستخرَج منه الحديد تؤثِّر على خواصه الفيزيائية.

مثال ١: تحديد الخواص الفيزيائية لفلز الحديد

أيٌّ من الخواص الآتية **ليست** صوابًا عن الحديد النقي؟

أ. الحديد النقي يُسحَب أو يتمدَّد في أسلاك رفيعة بسهولة.

ب. الحديد النقي له لمعان ساطع.

ج. الحديد النقي لين جدًّا وصلادته منخفضة.

د. الحديد النقي له درجة انصهار منخفضة.

هـ. الحديد النقي له خواص مغناطيسية.

الحل

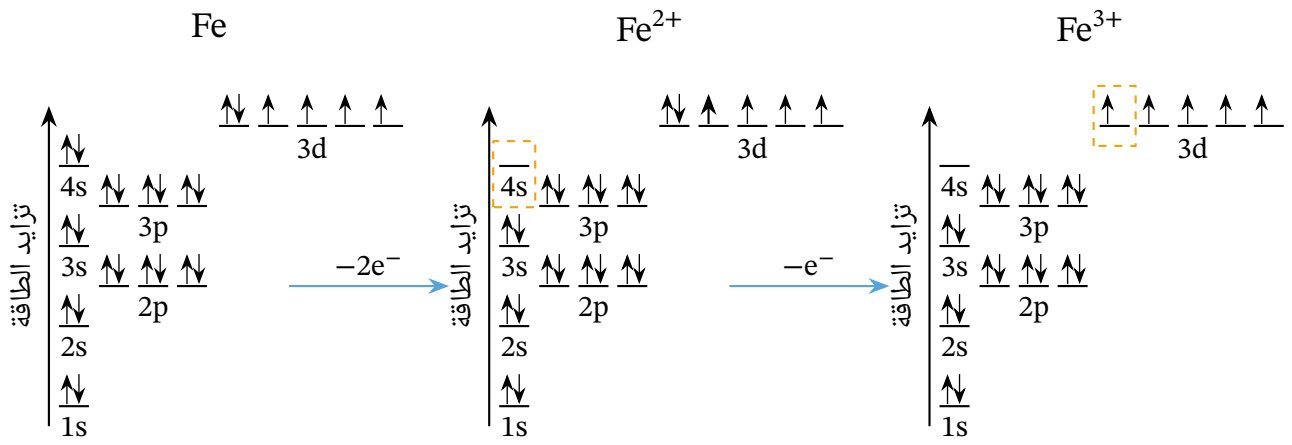
على الرغم من أن بعض خواص الحديد معروفة جيدًا مثل خواصه المغناطيسية، فيمكن استنتاج خواص أخرى أقل شهرة له من الخواص العامة للفلزات، كما تقترن بعض الخواص بالحديد فقط ويجب تذكُّرها. وكالعديد من الفلزات، يُعَد الحديد قابلًا للسحب، ويمكن مدُّه في شكل أسلاك؛ ومن ثَمَّ يمكننا استبعاد الخيار (أ). وكالعديد من الفلزات، يمكن صقل الحديد ليصبح ذا لمعان ساطع؛ ما يعني استبعاد الخيار (ب).

إحدى الخواص الفيزيائية المقترنة بالحديد هي حقيقة أنه مغناطيسي؛ لذا، نستبعد الخيار (هـ)، وكذلك الإجابة التي تنص على أن الحديد فلز لين جدًّا وصلادته منخفضة؛ أي الخيار (ج).

بهذا، يتبقَّى لدينا الخيار (د) الذي ينص على أن الحديد النقي له درجة انصهار منخفضة. فينصهر الحديد النقي عند درجة 1 538°C، التي لا تُعتبر درجة حرارة منخفضة؛ ومن ثَمَّ، نستنتج أن الخيار (د) هو الإجابة الصحيحة.

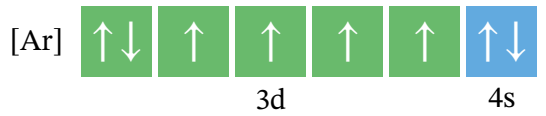
يشترك الحديد في بعض خواصه الفيزيائية والكيميائية مع الفلزات الأخرى التي تنتمي إلى الفئة d في الدورة نفسها. ولكن حالات تأكسد الحديد مختلفة. فذرات الحديد لا تتحوَّل إلى حالة التأكسد 8+ عند فقد كل الإلكترونات في مدارات الغلافين الفرعيين 3d و4s. وهذا عكس ما يحدث للعنصر المجاور للحديد، وهو المنجنيز، الذي يمكن أن يفقد كل إلكتروناته في مدارات الأغلفة الفرعية 3d و4s ليُكوِّن حالة التأكسد 7+. وعلى الرغم من أن الحديد يمكن أن تتراوح حالات تأكسده من 4− إلى 7+، فإن حالتَي التأكسد الأكثر شيوعًا له هما 2+، و3+.

عند تكوين الأيونات، يفقد الحديد إلكترونين من الغلاف الفرعي 4s، لكنه قد يفقد أيضًا إلكترونًا ثالثًا من زوج الإلكترونات الموجود في مدار الغلاف الفرعي 3d، وهو ما تَنتج عنه حالة تأكسد 3+.

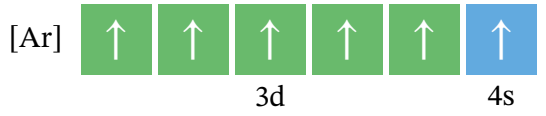


مثال ٢: تحديد التوزيع الإلكتروني لأيون حديد

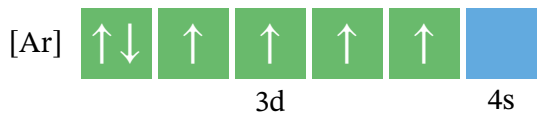
بالنظر إلى التوزيع الإلكتروني لفلز الحديد المُمثَّل في الشكل، ما التوزيع الإلكتروني لأيون Fe^{2+}؟



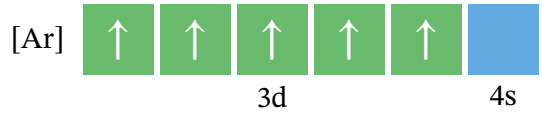
أ.



ب.



جـ.



د.

هـ.

الحل

كما هو الحال مع الفلزات الانتقالية الأخرى، ستفقد ذرات الحديد إلكترونات من الغلاف الفرعي 4s قبل أن تفقد إلكترونات من مدارات 3d. ومن ثَمَّ، في هذه المسألة، علينا البحث عن الإجابات التي تتضمَّن فقد إلكترونين من الغلاف الفرعي 4s. وبهذا، نجد لدينا خيارين محتمَلين؛ وهما (ب) و(ج). تحتوي ذرة عنصر الحديد على 26 بروتونًا؛ ما يعني أن أيون Fe^{2+} سيحتوي على 24 إلكترونًا. ويحتوي عنصر الأرجون على 18 إلكترونًا؛ ما يعني أن الغلاف الفرعي 3d لا بد أن يحتوي على 6 إلكترونات ليصبح لدينا 24 إلكترونًا إجمالًا. ثمة طريقة أخرى لاستبعاد الخيار (ج)، وهي مقارنته بالشكل الأول في السؤال، وملاحظة أن هناك ثلاثة إلكترونات مفقودة في الخيار (ج). وباستبعاد الخيار (ج)، تكون الإجابة الصحيحة هي (ب).

يتفاعل الحديد بطريقة مماثلة لتفاعل معظم الفلزات، لكن يجب التأكد من أن نوع الحديد الناتج له حالة التأكسد المطلوبة.

أحد أبسط هذه التفاعلات تفاعل الحديد المسخَّن لدرجة الاحمرار إما مع الهواء الجاف وإما مع الأكسجين لإنتاج أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي المغناطيسي:

$$3\,Fe(s) + 2\,O_2(g) \xrightarrow{\Delta} Fe_3O_4(s)$$

الحديد المسخَّن لدرجة الاحمرار يتفاعل أيضًا، عند درجة 500°C، مع بخار الماء لإنتاج أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي المغناطيسي وغاز الهيدروجين:

$$3\,Fe(s) + 4\,H_2O(g) \xrightarrow{500°C} Fe_3O_4(s) + 4\,H_2(g)$$

يمكن أن يتفاعل الحديد كذلك مع اللافلزات لإنتاج المركب الثنائي المُناظر، لكن يجب التأكد من تحديد حالة تأكسد ناتج الحديد بشكل صحيح:

$$2\,Fe(s) + 3\,Cl_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2\,FeCl_3(s)$$

$$Fe(s) + S(s) \xrightarrow{\Delta} FeS(s)$$

والآن، علينا ملاحظة بعض الأسماء التي يمكن استخدامها لوصف مركبات الحديد. فمركب الكلوريد المكوَّن بالأعلى، والمُسمَّى علميًّا بكلوريد الحديد الثلاثي، يمكن أن يُشار إليه أيضًا باسم كلوريد الحديديك. ويُشير مصطلح «الحديديك» إلى الحديد في حالة التأكسد 3+. وفي المقابل، يمكن الإشارة إلى كبريتيد الحديد الثنائي (FeS) بكبريتيد الحديدوز. ويُشير مصطلح الحديدوز هنا إلى مركب حديد تكون حالة تأكسد الحديد فيه 2+.

عند أكسدة فلز الحديد باستخدام أحماض معدنية مخفَّفة، تَنتُج أملاح الحديد الثنائي:

$$\mathrm{Fe}(s) + \mathrm{H_2SO_4}(aq) \longrightarrow \mathrm{FeSO_4}(aq) + \mathrm{H_2}(g)$$

$$\mathrm{Fe}(s) + 2\,\mathrm{HCl}(aq) \longrightarrow \mathrm{FeCl_2}(aq) + \mathrm{H_2}(g)$$

ولكن عندما يتفاعل فلز الحديد مع حمض الكبريتيك المركَّز، تتأكسد بعض أيونات الحديد الثنائي لتتحوَّل إلى أيونات حديد ثلاثي؛ ما يُعطي خليطًا من النواتج التي تشمل كبريتات الحديدوز، وكبريتات الحديديك، وغاز ثاني أكسيد الكبريت، وبخار الماء:

$$3\,\mathrm{Fe}(s) + 8\,\mathrm{H_2SO_4}(l) \xrightarrow[\text{مُركَّز } \mathrm{H_2SO_4}]{\Delta} \mathrm{FeSO_4}(aq) + \mathrm{Fe_2(SO_4)_3}(aq) + 4\,\mathrm{SO_2}(g) + 8\,\mathrm{H_2O}(g)$$

مثال ٣: مراجعة نواتج تفاعل فلز الحديد مع الأحماض المعدنية المخفَّفة

أيُّ العبارات الآتية صواب؟

أ. يمكن إذابة الحديد في حمض الهيدروكلوريك المخفَّف، وينتج عن ذلك كلوريد الحديد الثلاثي والماء.

ب. يمكن إذابة الحديد في حمض الهيدروكلوريك المخفَّف، وينتج عن ذلك كلوريد الحديد الثنائي وغاز الهيدروجين.

ج. يمكن إذابة الحديد في حمض الهيدروكلوريك المخفَّف، وينتج عن ذلك كلوريد الحديد الثنائي والماء.

د. يمكن إذابة الحديد في حمض الهيدروكلوريك المخفَّف، وينتج عن ذلك كلوريد الحديد الثلاثي وغاز الهيدروجين.

الحل

وعلى غرار أغلب الفلزات الأخرى، تتمثَّل إحدى الخواص الكيميائية للحديد في تفاعله مع الأحماض المخفَّفة. عندما تتفاعل الفلزات مع الأحماض، ينتج عن ذلك أملاح وغاز الهيدروجين؛ ومن ثَمَّ، نستنتج أن الخيارين (أ) و(ج)، اللذين يتضمَّنان الماء في نواتج التفاعل، غير صحيحين.

عندما يتفاعل فلز الحديد مع الأحماض المخفَّفة، تنتج عن ذلك أملاح الحديد الثنائي. أما أملاح الحديد الثلاثي، فلا تنتج إلا في حالة التفاعلات مع الأحماض المعدنية المُركَّزة. وبهذا، نستنتج أن الإجابة الصحيحة هي الخيار (ب).

أحد التفاعلات المثيرة للاهتمام بشكل خاص، والتي تتضمَّن الحديد وحمض النيتريك وتُعَد مثالًا على إحدى عمليات الهندسة والكيمياء الفيزيائية، هو التفاعل الذي يُعرَف باسم التخميل. عندما يتفاعل حمض النيتريك المركَّز مع فلز الحديد، تتكوَّن طبقة رقيقة من أكسيد الحديد على سطح الفلز. هذه الطبقة من الأكسيد تمنع أي جزيئات حمض أخرى من الوصول

إلى سطح الحديد؛ ومن ثَمَّ، توفِّر وقاية له من التآكل. ولكن طبقة الأكسيد هذه يمكن إزالتها بإضافة حمض الهيدروكلوريك المخفَّف، أو عن طريق كشطها باستخدام قطعة من ورق الصنفرة.

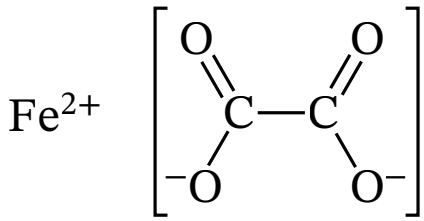
إحدى مجموعات مركبات الحديد الأكثر إثارة للاهتمام هي الأكاسيد. يكوِّن الحديد ثلاثة أنواع مختلفة من الأكاسيد، لكلٍّ منها خواص فيزيائية وكيميائية مختلفة.

أكسيد الحديد الثنائي، FeO
- أكسيد الحديدوز
- يُوجَد في خام الفوستيت

أكسيد الحديد الثلاثي، Fe_2O_3
- أكسيد الحديديك
- يُوجَد في خام الهيماتيت

أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي، Fe_3O_4
- أكسيد الحديدوز-حديديك
- يُوجَد في خام المجنيتيت

يُوجَد أكسيد الحديد الثنائي في خام الفوستيت، لكن من الممكن تحضيره كيميائيًّا بتحلُّل أكسالات الحديد في غياب الهواء:



$$FeC_2O_4(s) \xrightarrow[\text{(غياب الهواء)}]{\Delta} FeO(s) + CO(g) + CO_2(g)$$

يمكن أيضًا تحضير أكسيد الحديد الثنائي باختزال أكاسيد الحديد التي لها حالة تأكسد أعلى، مثل أكسيد الحديد الثلاثي، وأكسيد الحديد الثنائي والثلاثي:

$$Fe_2O_3(s) + H_2(g) \xrightarrow{400\text{–}700^\circ C} 2\,FeO(s) + H_2O(g)$$

$$\mathrm{Fe_3O_4}(s) + \mathrm{H_2}(g) \xrightarrow{400\text{–}700^\circ\mathrm{C}} 3\,\mathrm{FeO}(s) + \mathrm{H_2O}(g)$$

لكن تجدر الإشارة هنا إلى أنه على الرغم من إمكانية حدوث تفاعلات FeO هذه من الناحية النظرية، فإنه من الناحية العملية يكون FeO الناتج غير مستقر في درجات الحرارة الأقل من 570°C، ويمكن أن يتأكسد بسهولة ليتحوَّل مرةً أخرى إلى $\mathrm{Fe_3O_4}$، أو يتأكسد ليتحوَّل من أكسيد الحديد الثنائي إلى أكسيد الحديد الثلاثي وفقًا للمعادلة الآتية:

$$4\,\mathrm{FeO}(s) + \mathrm{O_2}(g) \xrightarrow{\Delta} 2\,\mathrm{Fe_2O_3}(s)$$

يمكن أن يتفاعل أكسيد الحديد الثنائي مع الأحماض المعدنية ليُعطي ملحًا وماءً:

$$\mathrm{FeO}(s) + \mathrm{H_2SO_4}(aq) \longrightarrow \mathrm{FeSO_4}(aq) + \mathrm{H_2O}(l)$$

خام الهيماتيت، $\mathrm{Fe_2O_3}$، هو أحد أكاسيد الحديد الشائعة في القشرة الأرضية. ونظرًا للون $\mathrm{Fe_2O_3}$ البني المحمر، فهو يُستخدَم عادةً في صبغات الطلاء الحمراء. يمكن كذلك فصل هذا الأكسيد كيميائيًا من خلال تفاعل محلول كلوريد الحديديك مع محلول هيدروكسيد لتكوين هيدروكسيد الحديد الثلاثي غير القابل للذوبان، الذي يمكن أن يتحلَّل حراريًا بعد ذلك ليُعطي أكسيد الحديد الثلاثي. على سبيل المثال، يمكن أن يتفاعل كلوريد الحديديك مع هيدروكسيد الأمونيوم:

$$\mathrm{FeCl_3}(aq) + 3\,\mathrm{NH_4OH}(aq) \longrightarrow \mathrm{Fe(OH)_3}(s) + 3\,\mathrm{NH_4Cl}(aq)$$

$$2\,\mathrm{Fe(OH)_3}(s) \xrightarrow{\text{أعلى من } 200^\circ\mathrm{C}} \mathrm{Fe_2O_3}(s) + 3\,\mathrm{H_2O}(g)$$

يمكن كذلك تحضير أكسيد الحديد الثلاثي عن طريق تسخين كبريتات الحديد الثنائي، ولكن يجب توخِّي الحذر عند إجراء هذا التفاعل في المختبر؛ لأنه تنتج عنه غازات كبريتية ضارة:

$$2\,\mathrm{FeSO_4}(s) \xrightarrow{\Delta} \mathrm{Fe_2O_3}(s) + \mathrm{SO_2}(g) + \mathrm{SO_3}(g)$$

مثال أخير على الخواص الكيميائية لأكسيد الحديد الثلاثي، هو تفاعله مع الأحماض المعدنية المُركَّزة الساخنة، مثل حمض الكبريتيك، لتكوين أملاح الحديد الثلاثي وبخار:

$$\mathrm{Fe_2O_3}(s) + 3\,\mathrm{H_2SO_4}(l) \longrightarrow \mathrm{Fe_2(SO_4)_3}(aq) + 3\,\mathrm{H_2O}(g)$$

مثال ٤: تحديد أكسيد الحديد الناتج عن تفاعل ملح مجهول مع محلول قلوي

ينتج الراسب البني المحمر الموضَّح في الصورة في التفاعل بين أحد أملاح الحديد ومحلول قلوي مُخفَّف. عند فصل الراسب وتجفيفه ثم تسخينه في أنبوب اشتعال، تبيَّن وجود بخار الماء مع أحد مركبات الحديد الأخرى، X. ما ماهية X الممكنة؟

الحل

تتفاعل أملاح الحديد مع المحاليل القلوية المخفَّفة، تحديدًا أيونات الهيدروكسيد، لتكوِّن إما هيدروكسيد الحديد الثنائي وإما هيدروكسيد الحديد الثلاثي، وذلك بناءً على ملح الحديد الذي بدأ به التفاعل. يؤدي تسخين هيدروكسيد الحديد إلى جفاف الهيدروكسيد وتكوُّن أكسيد حديد، وفي هذه الحالة نستنتج أن الراسب الناتج هو أكسيد الحديد الثلاثي، Fe_2O_3، بسبب اللون البني المحمر للمركب الموضَّح في الصورة.

آخر نوع من الأكاسيد التي سنتناولها في هذا الشارح هو الأكسيد الأسود المغناطيسي الذي يُعرَف أيضًا بأكسيد الحديدوز-حديديك. يُوجَد هذا الأكسيد غالبًا في خام المجنيتيت، ويمكن اعتباره خليطًا من أكسيد الحديد الثنائي وأكسيد الحديد الثلاثي. يمكن تحضير هذا الأكسيد في المختبر عن طريق اختزال أكسيد الحديد الثلاثي باستخدام أول أكسيد الكربون، وكذلك عن طريق أكسدة فلز الحديد:

$$3\,Fe_2O_3(s) + CO(g) \xrightarrow{230\text{–}300^\circ C} 2\,Fe_3O_4(s) + CO_2(g)$$

$$3\,Fe(s) + 4\,H_2O(g) \xrightarrow{500^\circ C} Fe_3O_4(s) + 4\,H_2(g)$$

ومثل فلز الحديد، عندما يتفاعل أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي مع حمض الكبريتريك المركَّز، ينتج خليطٌ من أملاح الحديد الثنائي وأملاح الحديد الثلاثي، وهو ما يدعم الأساس المنطقي لاعتبار هذا الأكسيد خليطًا من أكسيد الحديد الثنائي وأكسيد الحديد الثلاثي:

$$Fe_3O_4(s) + 4\,H_2SO_4(l) \xrightarrow[\text{مُركَّز } H_2SO_4]{\Delta} FeSO_4(aq) + Fe_2(SO_4)_3(aq) + 4\,H_2O(g)$$

يمكن توضيح ذلك بمزيد من التفصيل أيضًا عن طريق تفاعلات الاختزال التي نُوقِشت سابقًا، وحقيقة أنه يمكن أيضًا أكسدة أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي إلى أكسيد الحديد الثلاثي:

$$Fe_3O_4(s) + H_2(g) \xrightarrow{400\text{–}700^\circ C} 3\,FeO(s) + H_2O(g)$$

$$2\,Fe_3O_4(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 3\,Fe_2O_3(s)$$

تلخيصًا لما سبق، للحديد وأكاسيده نطاق واسع من الخواص الفيزيائية والكيميائية التي من المهم أن يفهمها الكيميائيون؛ نظرًا لأهمية هذا العنصر للمجتمع. أكسيد الحديد الثنائي مادة صلبة سوداء غير قابلة للذوبان في الماء، وتتأكسد بسهولة في الهواء الساخن. أكسيد الحديد الثلاثي هو أيضًا مادة غير قابلة للذوبان في الماء، ويتفاعل مع الأحماض المعدنية المركَّزة الساخنة لإنتاج أملاح الحديد الثلاثي والماء. أما الأكسيد الأخير الذي تناولناه في هذا الشارح، فهو أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي الذي يتفاعل أيضًا مع الأحماض المركَّزة الساخنة، ويُعَد مغناطيسًا قويًّا.

هيا نلخِّص الآن ما تعلَّمناه في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- الحديد النقي ليس له أهمية صناعية، لكن السبائك التي تُصنع منه، مثل سبائك الصلب، مهمة جدًّا.
- للحديد خواص عامة مشابهة لتلك المقترنة بأغلب الفلزات.
- تتضمَّن التفاعلات الكيميائية الشائعة للحديد مركبات الحديد في حالة التأكسد 2+ أو 3+.
- يتفاعل فلز الحديد مع الهواء، وبخار الماء، واللافلزات، والأحماض.
- يكوِّن الحديد ثلاثة أنواع مختلفة من الأكاسيد، وهي أكسيد الحديد الثنائي، وأكسيد الحديد الثلاثي، وأكسيد الحديد الثنائي والثلاثي.
- يمكن أن يتكوَّن أكسيد الحديد الثنائي من تحلُّل أكسالات الحديد، أو اختزال أكسيد الحديد الثلاثي أو أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي.
- يمكن أن يتكوَّن أكسيد الحديد الثلاثي من التحلُّل الحراري لهيدروكسيد الحديد الثلاثي أو كبريتات الحديد الثنائي.
- يمكن أن يتكوَّن أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي من تفاعل أكسيد الحديد الثلاثي مع أول أكسيد الكربون، وكذلك من تفاعل فلز الحديد مع الماء.
- يمكن اعتبار أكسيد الحديد الثنائي والثلاثي خليطًا من أكسيد الحديد الثنائي وأكسيد الحديد الثلاثي، ويمكن أكسدته أو اختزاله لإنتاج أكسيد الحديد الثلاثي وأكسيد الحديد الثنائي على الترتيب.