شارح: استخدامات فلزات الدورة الرابعة

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نسرد فلزات الفئة d بالدورة الرابعة، ونفسِّر استخداماتها.

فلزات الدورة الرابعة مجموعةٌ مهمة للغاية من العناصر التي تشكِّل تقريبًا 6.3% من العناصر الموجودة في البحر وفي القشرة الأرضية. عناصر الدورة الرابعة قوية ومهمة للغاية في الصناعات الكيميائية.

يوضِّح الجدول الآتي النسبة المئوية لوفرة هذه العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية وفي البحر.

العنصر	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
النسبة المئوية لوفرة العنصر	0.0022	0.565	0.0120	0.0102	0.0950	5.63	0.0025	0.0084	0.0060	0.0070

بعض هذه العناصر نادر جدًا، والبعض الأخرى متوافر. ولكن لكل عنصر في الدورة الرابعة استخدام واحد مهم على الأقل. السكانديوم نادر جدًا ويُستخدم في الطائرات، أما الحديد فيعتبر رابع أكثر العناصر وفرةً في القشرة الأرضية، وهو موجود حولنا جزءًا من سبائك الصلب. فلزات المجموعة الرابعة مدهشة حقًّا، وسنُلقي نظرةً على كل فلز على حدة، مع وصف بعض الاستخدامات المعروفة والمهمة لهذه العناصر.

مثال ١: مراجعة الفلز الأكثر وفرةً في القشرة الأرضية من فلزات الفئة d في الدورة الرابعة

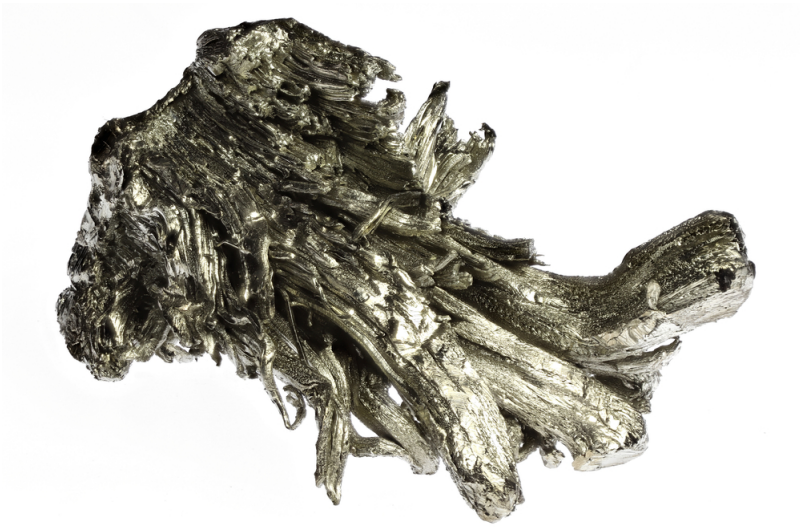
أيُّ فلزات الدورة الرابعة من الفئة d الأكثر وفرة في القشرة الأرضية؟

أ. الزنك
ب. الحديد
ج. النيكل
د. التيتانيوم
هـ. النحاس

الحل

يُعَد الحديد رابع أكثر العناصر وفرةً في القشرة الأرضية وفي البحر بعد الأكسجين والسليكون والألومنيوم. ويشكِّل الحديد 5.63% من القشرة الأرضية، ويشكِّل الزنك 0.0070%، والنيكل 0.0084%، والتيتانيوم 0.565%، والنحاس 0.0060%، من القشرة الأرضية. يمكننا استخدام هذه المعلومات لنحدد أن الخيار ب هو الإجابة الصحيحة.

أول عنصر سنتناوله من عناصر الفئة d من الدورة الرابعة، هو السكانديوم، وهو فلز أبيض فضي، اكتُشف لأول مرة في إسكندنافيا عام 1879.



يمكننا جعل الفلزات أقوى عن طريق خلطها مع فلزات أخرى لتكوين سبائك. يمكن خلط كميات صغيرة (2% ~) من السكانديوم بكميات كبيرة من الألومنيوم لصناعة سبيكة ذات قوة ميكانيكية وقابلية عالية للسحب ومقاومة أفضل للتآكل. هذه السبائك الفلزية خفيفة وصلدة للغاية.

ابتكَر الاتحاد السوفييتي سبائك الألومنيوم والسكانديوم لأول مرة خلال فترة الحرب الباردة؛ حيث استخدمها في صنع الصواريخ والطائرات الحربية من طراز MiG. وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام سبائك السكانديوم هذه في صناعات أخرى بسبب خواصها المُميزة، فإن الندرة النسبية لهذا الفلز تجعل من الصعب اقتصاديًّا استخدامه خارج مجال الطيران.

يمكن إضافة مركبات السكانديوم، مثل ثلاثي يوديد السكانديوم، إلى مصابيح بخار الزئبق، للحصول على ضوء يشبه ضوء الشمس في لونه وشدته، ما يجعله مفيدًا في تصوير المشاهد السينمائية والتليفزيونية.

مثال ٢: تحديد استخدام لفلز السكانديوم

أيٌّ من الآتي أحد استخدامات السكانديوم؟

أ. صناعة المفاصل الصناعية

ب. دباغة الجلود

ج. صناعة الطائرات الحربية من طراز MiG

د. المغناطيسات العالية القدرة

هـ. صناعة زنبركات السيارات

الحل

يقع السكانديوم في المجموعة 13 من الجدول الدوري. وكثيرًا ما يُستخدم في إنتاج السبائك، وكان يُستخدم في صُنع الصواريخ والطائرات الحربية من طراز MiG عند خلطه بالألومنيوم.

تتضمَّن صناعة المفاصل الصناعية وزنبركات السيارات استخدام فلز التيتانيوم بسبب قوته الشديدة. وعادةً ما تتضمَّن دباغة الجلود استخدام أملاح الكروم، وعادةً ما تُصنَع المغناطيسات العالية القدرة جزئيًّا من النيكل أو الكوبالت. وبناءً على ذلك، نلاحظ أن الإجابة الصحيحة هي ج: صناعة الطائرات الحربية من طراز MiG.

بجانب السكانديوم، يُوجَد التيتانيوم، وهو من عناصر الفئة d بالدورة الرابعة، وهو موضَّح في الصورة الآتية. التيتانيوم فلز خفيف، لكنه متين للغاية ومقاوِم للتآكل.

يتمثَّل أحد الاستخدامات الأساسية للتيتانيوم في إنتاج سبائك التيتانيوم والألومنيوم. تُستخدَم هذه السبائك بكثرة في صناعة الطائرات وتصفيح الدروع، وحتى المركبات الفضائية. عندما يُخلَط التيتانيوم في سبائك مع الألومنيوم والفاناديوم وعناصر أخرى، تكون السبائك الناتجة ذات قوة شد عالية، لكن أيضًا وزنها خفيف نسبيًّا، ويمكن أن تتحمَّل درجات حرارة عالية دون أن تتلف.

ومن استخدامات التيتانيوم في حياتنا اليومية إنتاج واقي الشمس المصنوع من أكسيد التيتانيوم. يصنع ثاني أكسيد التيتانيوم مُركبًا ممتازًا للوقاية من الشمس؛ إذ يمكن إنتاج الجسيمات النانوية من هذا المُركَّب، وهو ما يسمح لواقي الشمس بألَّا يكون مرئيًّا بعد وضعه على البشرة. كما أنه معروف بأنه لا يسبِّب تهيُّجًا للبشرة الحساسة. والأهم من ذلك بالنسبة إلى واقي الشمس، أن TiO_2 له تأثير فعال جدًّا في منع الأشعة فوق البنفسجية A (UVA) والأشعة فوق البنفسجية B (UVB) القصيرة الموجة القادمة من الشمس.

على الرغم من أن هناك العديد من الاستخدامات للتيتانيوم، فإن الاستخدام الأخير الذي سنتناوله هنا هو استخدام التيتانيوم في زراعة الأسنان. تتمثَّل فوائد استخدام التيتانيوم في أنه مقاوِم للتآكل، لكنه غير تفاعلي أيضًا؛ ومن ثَمَّ، فإنه غير سام. يُستخدَم فلز التيتانيوم وسبائكه في طب الأسنان بسبب وزنها الخفيف وقوتها؛ ما يجعلها مواد رخيصة وفعَّالة يمكن استخدامها في زراعة الأسنان. توضِّح الصورة الآتية نموذجًا لتدريس الأسنان مع مسمار زراعة الأسنان من فلز التيتانيوم.

العنصر الثالث في الدورة الرابعة من عناصر الفئة d من الجدول الدوري هو الفاناديوم، الذي يتكوَّن بشكل طبيعي في 65 معدنًا مختلفًا تقريبًا، وفي رواسب الوقود الأحفوري. يمكن رؤية عيِّنة عالية النقاء من الفاناديوم في الصورة الآتية.

يُستخدَم الفاناديوم معدنًا مُضافًا في بعض أنواع الصلب. ويتميَّز الصلب الذي يحتوي على فلزات مثل الفاناديوم والكروم بأنه أكثر صلادةً.

تعريف: القابلية للتصليد

في علم المعادن، السبيكة القابلة للتصليد هي السبيكة التي يمكن زيادة صلادتها لتصبح أكثر مقاومةً للتشكيل.

الصلب الذي يحتوي على الفاناديوم والكروم يقاوِم أيضًا التآكل مقاومةً شديدةً؛ ما يجعله مفيدًا في إنتاج زنبركات السيارات.

هناك العديد من مركبات الفاناديوم المهمة، مثل أكاسيد الفاناديوم المستخدَمة في صناعات الزجاج والخزف. ويُستخدَم أكسيد مُعيَّن، وهو خامس أكسيد الفاناديوم (V_2O_5)، عاملًا حفَّازًا في عملية التماس؛ حيث يُؤَكسِد ثاني أكسيد الكبريت

إلى ثالث أكسيد الكبريت. كما يُستخدَم خامس أكسيد الفاناديوم عاملًا حفَّازًا في صناعة الموصِّلات المغناطيسية القوية، وصبغةً في صناعة الزجاج والخزف.

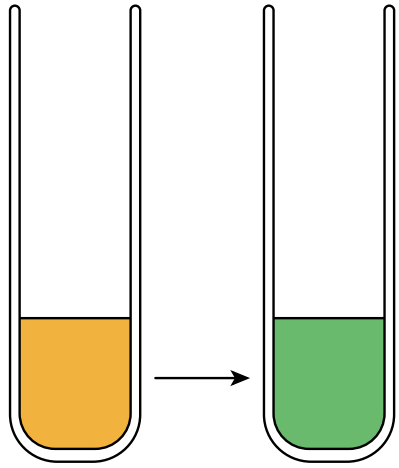
الكروم عنصرٌ من عناصر الفئة d بالدورة الرابعة في المجموعة السادسة، وأشهر استخداماته هي الزخرفة؛ لأنه يمكن أن يُصقل بدرجة كبيرة ويقاوِم التآكل. توضِّح الصورة الآتية بلورات من فلز الكروم ومكعبًا من فلز الكروم الصلب.

الكروم مقاوِم للتآكل بسبب تكوُّن طبقة أكسيد على سطحه عندما تتلامس مع الأكسجين في الهواء. الشكل اللامع والبرَّاق للكروم يرجع إلى حقيقة أن البنية الفلزية للكروم منتظمة، كما أنه يمتص الضوء ويبعثه مرة أخرى دون تشتت.

ويشكِّل الكروم أيضًا سبيكة مع الحديد تُعرَف باسم فيرُّوكروم. تحتوي سبيكة الفيرُّوكروم على نسبة 70%–50% من وزنها من الكروم، وتُستخدَم في إنتاج الصلب المُقاوِم للصدأ.

لمركبات الكروم العديد من الاستخدامات. تُستخدَم أملاح الكروم مثل شب الكروم ($KCr(SO_4)_2$) وكبريتات الكروم الثلاثي في دباغة الجلود. أثناء عملية الدباغة، يربط الكروم بين ألياف الكولاجين الموجودة في جلود الحيوانات بروابط متقاطعة. على الرغم من أن المُركَّبات المستخدَمة للدباغة لا تحتوي على مادة الكروم في حالة التأكسُد 6+ السامة، يظل هناك اهتمام متواصل بتطوُّر طرق دباغة لا تعتمد على أملاح الكروم وتتجنَّب خطر امتصاص الجسم للكروم.

تتضمَّن المركبات الأخرى المعروفة للكروم أكسيد الكروم الثلاثي (Cr_2O_3)، الذي يُستخدَم في صناعة الصبغات. ثاني كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) عامل مؤكسِد عضوي شائع يُستخدَم كثيرًا لأكسدة الكحولات الأوَّليَّة إلى أحماض كربوكسيلية. ويصاحِب تفاعل الأكسدة هذا تغيُّرٌ معروف في اللون؛ وذلك لأن محلول ثاني كرومات البوتاسيوم الأصفر المائل إلى البرتقالي يتحوَّل إلى اللون الأخضر. هذا التغيُّر في اللون يناظر اختزال أيونات الكروم إلى الحالة 3+.



مثال ٣: تحديد فلز من الدورة الرابعة من استخداماته

أيُّ فلزات الدورة الرابعة الآتية يُستخدَم عادةً في السبائك مع الحديد في الطلاءات الزخرفية على المصابيح الأمامية للسيارة وله مُركَّبات تُستخدَم في دباغة الجلود؟

أ. الزنك

ب. السكانديوم

ج. الكوبالت

د. النحاس

هـ. الكروم

الحل

في هذا السؤال، المطلوب منا هو تحديد أيُّ فلز من فلزات الدورة الرابعة له مجموعة متنوِّعة من الاستخدامات. أول استخدام يتضمَّن الإشابة مع الحديد في سبيكة. يُوجَد العديد من الفلزات التي تُستخدَم في سبائك الحديد الشائعة، مثل الكروم والكوبالت.

لكن من بين هذين الفلزين، يُستخدَم الكروم أيضًا في الطلاء المعدني لمصابيح السيارة الأمامية. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدَم أملاح كروم مختلفة لإنشاء روابط متقاطعة بين ألياف الكولاجين عند دباغة الجلود. ومن ثَمَّ، الإجابة الصحيحة هي هـ: الكروم.

العنصر الخامس في الفئة d بالدورة الرابعة هو المنجنيز، الذي اكتشفه الكيميائي السويدي يوهان جوتليب جان في عام 1774. توضِّح الصورة الآتية رقائق المنجنيز المصقل إلكتروليتيًّا ومكعبًا من فلز المنجنيز.

قد يكون أهم استخدام للمنجنيز متمثِّلًا في إنتاج الصلب؛ حيث يكون ذا أهمية كبيرة؛ لأنه لا يُوجَد بديل للمنجنيز في العديد من تطبيقات علم المعادن. عند صنع سبيكة من الحديد والمنجنيز يتكوَّن الفيرومنجنيز. يُستخدَم الفيرومنجنيز مادةً مُضافةً في العديد من الأنواع المختلفة من الصلب. فالمنجنيز بمفرده مادة هشة للغاية؛ لذا، فهو أكثر فائدةً في صورة سبيكة.

يُستخدَم المنجنيز في صورة ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2) في البطاريات القلوية؛ ما يسمح بإنتاج خلايا أوَّلية صغيرة إلى حدٍّ ما ذات أداء متميز. تكتشف الأبحاث الحالية استخدامات جديدة للمنجنيز عن طريق إدخاله في بطاريات أيون الليثيوم.

يمكن أن تكون مُركَّبات المنجنيز مألوفة لدى الطلاب في المرحلة الثانوية، من خلال مواد مثل برمنجنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) التي تُستخدَم عاملًا مؤكسِدًا شائعًا. يمكن استخدام برمنجنات البوتاسيوم مطهِّرًا، وتوضِّح الصورة الآتية بلورات $KMnO_4$، بلونها الأرجواني المميز وهي تذوب في كأس زجاجية من الماء.

ثمة تفاعل آخر معروف أيضًا، وهو إنتاج غاز الأكسجين من التحلُّل الحفزي لبيروكسيد الهيدروجين بواسطة ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2):

$$2\,H_2O_2(aq) \xrightarrow{MnO_2} 2\,H_2O(l) + O_2(g)$$

تتضمَّن المركبات المفيدة الأخرى للمنجنيز كبريتات المنجنيز الثنائي، التي لها العديد من الاستخدامات، مثل استخدامها في إنتاج مبيدات الفطريات، والمطهرات، والأسمدة، والطلاء الزجاجي، والورنيش، والخزف.

الاستخدام الأخير للمنجنيز، أنه يمكن إشابته مع الألومنيوم لعمل سبيكة مقاومة للتآكل يمكن استخدامها في صناعة عبوات المشروبات الغازية.

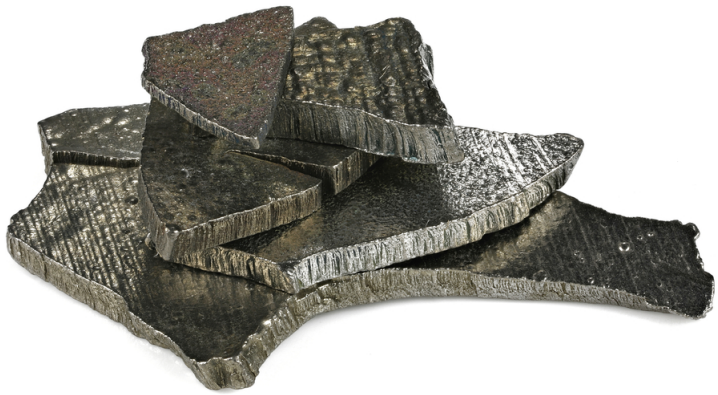
يُعَد الحديد أحد أكثر عناصر الدورة الرابعة شهرةً؛ حيث كان الإنسان يعزله من خاماته منذ آلاف السنين.

من المعلوم أن الحديد هو المكوِّن الرئيسي للصلب، وبدون الصلب يكون من الصعب إنتاج العديد من المواد والعناصر التي نستخدمها في حياتنا اليومية. ويعتمد كلٌّ من الأسمنت المسلح وأعمدة التيار الكهربي والمسدسات والسكاكين والأدوات الجراحية على السبائك والمواد المُكوَّنة من الحديد.

لكن الحديد يُعَد أيضًا عاملًا حفازًا. فخام المجنيتيت هو المصدر الأساسي للحديد الحفَّاز المستخدَم في عملية هابر-بوش، التي تُستخدَم لصناعة الأمونيا على النطاق الصناعي. يُعَد الحديد أيضًا عاملًا حفَّازًا في طريقة فيشر-تروبش لتحويل الغاز المائي إلى وقود سائل.

الحديد أيضًا مادة مغناطيسية لها خواص فرومغناطيسية؛ ما يعني أنه يمكن مغنطته بواسطة مجال مغناطيسي خارجي ويظل مغناطيسًا دائمًا بعد ذلك.

في المجموعة التاسعة، والدورة الرابعة من الجدول الدوري، يُوجَد عنصر الكوبالت. يُعَد الكوبالت فلزًّا صلدًا لامعًا ينتج عادةً في صورة ناتج ثانوي لتعدين النحاس والنيكل.



وكما هو الحال مع الحديد، يمكن مغنطة الكوبالت، وهو ما يؤدي إلى إنتاج مغناطيسات شديدة القوة للغاية مثل مغناطيسات السماريوم والكوبالت (SmCo) التي تتميز بمقاومة عالية لإزالة المغنطة. يُستخدَم الكوبالت وسبائكه أيضًا في الأقراص الصلبة وأجهزة الرنين المغناطيسي والبطاريات الجافة في السيارات الحديثة. ويمكن أن تتسبَّب ندرة الكوبالت في تقلُّب سعر العنصر، ما يجعله اختيارًا غير مرغوب فيه في بعض الصناعات.

للكوبالت 12 نظيرًا مشعًا. الكوبالت-60 نظيرٌ مشع للكوبالت يتم تصنيعه، ومتوسط عمره خمس سنوات تقريبًا. يُنتِج النظير كوبالت-60 أشعة جاما ذات قدرة عالية على الاختراق، ما يجعله يُستخدَم في مجال الطب في تعقيم الأدوات وتشخيص الأورام وعلاجها. ويُعَد حفظ الأغذية بالإشعاع استخدامًا آخر لهذا النظير. فيؤدي حفظ الأغذية بالإشعاع إلى إطالة عُمرها الافتراضي من خلال التخلُّص من الكائنات الدقيقة التي قد تُفسِد الطعام. وأخيرًا، يُستخدَم الكوبالت-60 لتقييم جودة المنتجات الصناعية من خلال اكتشاف الشقوق في الأنابيب والوصلات الملحومة.

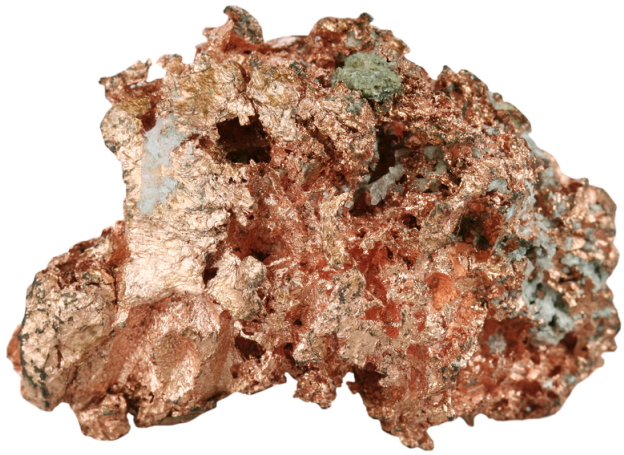
أما العنصر الثامن في سلسلة فلزات الدورة الرابعة، فهو النيكل. النيكل فلز صلد وقابل للسحب يُكوِّن طبقة أكسيد واقية عند تعرُّضه للأكسجين الموجود في الهواء.

تُصنَّع العديد من البطاريات المستخدَمة في المنزل، والتي يمكن إعادة شحنها، من النيكل. اختُرعت بطاريات النيكل والكادميوم منذ أكثر من مائة سنة في عام 1899، ولا تزال هي الصورة الأكثر شيوعًا من البطاريات القابلة لإعادة الشحن حتى يومنا هذا. يُستخدَم النيكل في طلاء الفلزات الأخرى، لحمايتها من التآكل وإضفاء شكل رائع عليها.

يُستخدَم فلز النيكل أيضًا عاملًا حفَّازًا في هدرجة الزيوت النباتية، وهي عملية صناعية مهمة. يتكوَّن العامل الحفاز من حبيبات نيكل ناعمة، ويُعرَف باسم نيكل راني، وسُمِّي على اسم موراي راني (المهندس الأمريكي الذي اخترع العامل الحفَّاز عام 1926).

وكما هو الحال مع العديد من فلزات الدورة الرابعة، يمكن سبك النيكل مع فلزات أخرى. على الرغم من أن هناك العديد من الأمثلة، فإن أهمها هو السبيكة التي تتكوَّن من النيكل والحديد والكروم، والتي لها مقاومة عالية جدًّا للحرارة والتآكل، وتُستخدَم في التوربينات البخارية لمحطات توليد الطاقة والأفران الكهربية.

العنصر قبل الأخير من عناصر الفئة d بالدورة الرابعة هو النحاس، وهو فلز معروف جيدًا، ويُستخدَم في جميع أنحاء العالم في الأسلاك الكهربية؛ لأنه موصِّل جيد للكهرباء. توضِّح الصورة الآتية اللون المُميز لفلز النحاس.



يُعَد النحاس جزءًا من سبيكتين معروفتين للغاية: النحاس الأصفر والبرونز. البرونز سبيكةٌ عرفها الإنسان منذ آلاف السنين، واستُخدمت في بناء التماثيل وصنع الآلات الموسيقية، واستُخدمت أيضًا في حماية القوارب في البحر لمقاومتها للتآكل. يُوجَد العديد من سبائك البرونز المختلفة، لكن غالبًا ما تكون سبيكة البرونز من النحاس والقصدير.

يُعَد فلز النحاس مهمًّا أيضًا في تدريس الكيمياء العضوية؛ نظرًا لإدراجه في محلول فهلنج. يُستخدَم محلول فهلنج الأزرق في مجال الكيمياء للتفرقة بين المجموعتين الوظيفيتين للكيتون والألدهيد، ويُستخدَم في علم الأحياء للتفرقة بين الكربوهيدرات القابلة للذوبان في الماء والمركبات التي تحتوي على الكيتون. يتحوَّل لون محلول فهلنج إلى أحمر برتقالي إذا كان الاختبار إيجابيًّا.

لمركبات النحاس العديد من الاستخدامات المهمة في المجتمع. يمكن استخدام كبريتات النحاس مبيدًا حشريًّا ومضادًّا للفطريات، ويمكن أيضًا استخدامها إلكتروليتًا في الطباعة وفي صناعة المعادن.

العنصر الأخير من فلزات الفئة d بالدورة الرابعة هو الزنك، الذي يعتبر أحد الفلزات بعد الانتقالية، وترتيبه 24 في العناصر الأكثر وفرةً في القشرة الأرضية.

يُستخدَم الزنك كثيرًا في البطاريات، على الرغم من أنه لا يُستخدَم بالضرورة في إنتاج أفضل البطاريات أداءً. بطاريات الزنك والكربون ذات تكلفة إنتاج منخفضة، وتدوم لفترة طويلة في الأجهزة التي لا تستهلك الكثير من الطاقة، مثل وحدة التحكم في التلفاز عن بُعد.

يُستخدَم فلز الزنك في الجلفنة أيضًا، وفي طُرق الحماية بقطب مضحٍّ للفلزات الأخرى لمنع التآكل. وتُستخدَم مُركَّبات الزنك مثل أكسيد الزنك (ZnO) وكبريتيد الزنك (ZnS) في صناعة الطلاءات المضيئة وشاشات الأشعة السينية.

تكلفة الكيلوجرام من الحديد قد تكون أقل من دولار أمريكي واحد؛ لكن تكلفة الكيلوجرام من السكانديوم قد تكون أكثر من 3 000$. مع وجود هذا الفرق الكبير في السعر، وحقيقة تقلُّب هذه الأسعار، وتوافر بعض الفلزات في دول معيَّنة فقط، يتضح التأثير الاقتصادي لفلزات الدورة الرابعة على الصناعة.

فمن الطائرات الحربية إلى واقي الشمس، ومن دباغة الجلود إلى حفظ الأطعمة بالإشعاع، تُعَد فلزات الفئة d بالدورة الرابعة مجموعة رائعة وأساسية من الفلزات التي جعلت حياتنا المعاصرة بشكلها الحالي.

هيا نلخِّص ما تعلَّمناه في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- تُوجَد 10 فلزات في الفئة d بالدورة الرابعة، بدايةً من السكانديوم في المجموعة الثالثة إلى الزنك في المجموعة 12.
- لفلزات الفئة d بالدورة الرابعة مجموعة كبيرة من الاستخدامات؛ ما يجعلها مهمة للغاية بالنسبة إلى المجتمع وللاقتصاد.
- يُستخدَم العديد من الفلزات إلى حدٍّ ما في إنتاج السبائك المختلفة لتكوين مواد لها خواص فيزيائية مرغوبة.
- الفلزات مثل الفاناديوم والنيكل والحديد مفيدة باعتبارها عوامل حفَّازة.
- عناصر مثل النيكل والمنجنيز والزنك مفيدة في إنتاج البطاريات.
- كثير من هذه الفلزات له مركبات تفيد أيضًا في مختبرات الكيمياء، مثل برمنجنات البوتاسيوم وكبريتات النحاس.