المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الكيمياء 3

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة 1448-2026

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

ⓒ المركز الوطني للمناهج ، ١٤٤٦هـ

المركز الوطني للمناهج
الكيمياء ٣ ـ التعليم الثانوي ـ السنة الثالثة ـ نظام مسارات./
المركز الوطني للمناهج. ـ الرياض ، ١٤٤٦هـ
١٧٨ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٦/١٦٥٢٧
ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٨٥٣٣-٠٧-٩

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم
www.moe.gov.sa

(أُعدّت خرائط هذا المقرر بما في ذلك الحدود الظاهرة فيها لأغراض التعليم والإيضاح فقط)

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورًا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فورًا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار، وارتد قفازين، وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات يسهل اشتعالها باللهب، أوبالشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي، واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحًا يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي، واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائمًا ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الإسعافات الأولية في المختبر

أخبر معلمك في الحال عن أي حوادث قد تقع، وعليك أن تكون على علم بما يلي:

- احتياطات السلامة في المختبر.
- كيف ومتى تبلغ عن حادث، أو إصابة أو جرح، أو مادة مسكوبة.
- مكان صندوق الإسعافات الأولية ومستلزماتها، ومواقع كل من أجهزة إنذار الحريق والهاتف ومكتب الممرض في المدرسة.

الموقف	الاستجابة الآمنة
الحروق	يُسكب عليها الماء البارد بغزارة .
الجروح والكدمات	اتباع التعليمات والإرشادات الموجودة في صندوق الإسعافات الأولية.
الصدمات الكهربائية	تزويد الشخص بالهواء المنعش، وتمديد الشخص المصاب في وضع يكون فيه الرأس منخفضاً عن باقي الجسم، وإجراء عملية التنفس الاصطناعي إذا كان ضرورياً.
الإغماء أو الإنهيار	ارجع إلى الإستجابة في موقف الصدمة الكهربائية.
الحريق	إقفال جميع مصادر اللهب وإغلاق صنابير الغاز، ولف المصاب ببطانية الحريق، استعمال طفاية الحريق لإخماد النار. لا يجب استخدام الماء لإطفاء الحريق؛ لأن الماء يتفاعل مع المواد المحترقة، مما يتسبب في ازدياد الحريق.
مادة مجهولة في العين	غسل العين بالماء النظيف.
التسمم	معرفة العامل المسبب للتسمم، وإبلاغ المعلم للقيام باللازم.
النزف الشديد	الضغط على الجرح لوقف النزيف، وطلب المساعدة الطبية في الحال.
المواد المسكوبة	غسل المنطقة المصابة بكمية كبيرة من الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: "إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على الممارسات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب و بناء الشخصية"، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب الكيمياء 3 لنظام المسارات السنة الثالثة في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم "عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة"، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ولأن المادة هي كل شيء يشغل حيزًا في الفراغ وله كتلة، إذن فالكيمياء تهتم بدراسة كل شيء يحيط بنا، ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفّسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الارض تحت أقدامنا. كما تهتم بدراسة جميع التغيرات والتحولات التي تطرأ على المادة. فالنفط الخام يحوّل إلى منتجات نفطية قابلة للاستخدام بطرائق كيميائية، وكذلك تحويل بعض المنتجات النفطية إلى مواد بلاستيكية. والمواد الخام المعدنية يستخلص منها الفلزات التي تستخدم في العديد من الصناعات الدقيقة، وفي صناعة السيارات والطائرات. والأدوية المختلفة تستخلص من مصادر طبيعية ثم تفصل وتركب في مختبرات كيميائية. ويتم في هذه المختبرات تعديل مواصفات هذه الأدوية لتتوافق مع المواصفات الصيدلانية، وتلبي متطلبات الطب الحديث.

وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجَّه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يقوم الطالب بالاطلاع على الفكرة العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم يقوم بتنفيذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان التجربة الاستهلالية التي تساعد أيضًا على تكوين النظرة الشاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمن النشاطات التمهيدية للفصل إعداد مطوية تساعد على تلخيص أبرز الأفكار والمفاهيم التي سيتناولها الفصل.وهناك أشكال أخرى من

النشاطات الاستقصائية الأخرى التي يمكن تنفيذها من خلال دراسة المحتوى،ومنها مختبرات تحليل البيانات،أو حل المشكلات،أو التجارب العملية السريعة،أو مختبر الكيمياء في نهاية كل فصل،الذي يتضمن استقصاءً مفتوحاً في نهايته، بما يُعزز أيضًا مبدأ رؤية (2030) "نتعلّم لنعمل".

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطًا بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة، أو مع العلوم الأخرى، وشرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر مظللة باللون الأصفر، وتجد أيضًا أمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمِّق معرفتك وخبراتك في فهم محتوى الفصل. وتضمِّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى. وتجد أيضًا مجموعة من الشروح والتفسيرات في هوامش الكتاب، ومنها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتجية، وبالمهن أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، أو إرشادات للتعامل مع المطوية التي تعدها في بداية كل فصل.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في مستويات التقويم بأنواعه الثلاثة، التمهيدي والتكويني والختامي؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل بوصفها تقويمًا تمهيديًّا لتعرّف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل، أو من خلال مناقشة الأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان « ماذا قرأت؟»، وتجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى، وأسئلة تعزز فهمك لما تعلمت وما ترغب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية الفصل تجد دليلاً لمراجعة الفصل يتضمَّن تذكيرًا بالفكرة العامة والأفكار الرئيسة والمفردات الخاصة بأقسام الفصل، وخلاصة بالأفكار الرئيسة التي وردت في كل قسم. ثم تجد تقويمًا للفصل في صورة أسئلة متنوعة تهدف إلى إتقان المفاهيم، وحل المسائل، وأسئلة خاصة بالتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومسائل تحدٍّ، وتقويمًا إضافيًّا يتضمن تقويم مهارات الكتابة في الكيمياء، وأسئلة خاصة بالمستندات تتعلق بنتائج بعض التقارير أو البحوث العلمية. وفي نهاية كل فصل تجد اختبارًا مقننًا يهدف إلى تقويم فهمك للموضوعات التي قمت بتعلمها سابقًا.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟ 9

الفصل 1

المخاليط والمحاليل 12

1–1 أنواع المخاليط 14

1–2 تركيز المحلول 19

1–3 العوامل المؤثرة في الذوبان 29

1–4 الخواص الجامعة للمحاليل 38

في الميدان: مهن: كيميائي البيئة 45

الفصل 2

الأحماض والقواعد 54

2–1 مقدمة في الأحماض والقواعد 56

2–2 قوة الأحماض والقواعد 66

2–3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني .. 72

2–4 التعادل 81

الكيميـــاء من واقع الحيـــاة : تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز 91

الفصل 3

تفاعلات الأكسدة والاختزال 102

3–1 الأكسدة والاختزال 104

3–2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال 113

في الميدان: المهنة: محقق البحث الجنائي 121

الفصل 4

الكيمياء الكهربائية 132

4–1 الخلايا الجلفانية 134

4–2 البطاريات 144

4–3 التحليل الكهربائي 154

كيف تعمل الأشياء؟ منظم ضربات القلب 159

الملاحق

المصطلحات 170

الجدول الدوري 176

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

هـذا الكتاب ليس كتابًا أدبيًّا أو رواية خيالية، بل يصف ظواهر ونظريات وقوانيـن وحقائق علمية، ويربطها بحياة الناس، وتطبيقـات تقنية؛ لذا فأنت تقرؤه طلبًـا للعلم والمعلومات. وفيما يلي بعض الأفكار والإرشـادات التي تساعدك على قراءته:

قبـل أن تقـرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة والتجربة الاسـتهلالية ؛ فهي تـزودك بنظرة عامـة تمهيدية لهذا الفصل.

لكل فصل فكرة عامة تقـدم صورة شـاملة عنه. ولكل قسـم من أقسـام الفصل فكرة رئيسة تدعم فكرته العامة.



يبدأ كل فصل بتجربة اسـتهلالية تقـدم المادة التي يتناولها. نفذ التجربة الاستهلالية، لتكتشف المفاهيم التي سيتناولها الفصل.



لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرّف موضوعاته.
- تصفّح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحث عـن المفردات البـارزة والمظللـة باللون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل باسـتخدام العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

عندما تقرأ

ستجد في كل قسم أداة تعمِّق فهمك للموضوعات التي ستدرسها، وأدوات أخرى لاختبار مدى استيعابك لها.



1-1

الأهداف

- **تعرف** أنواع المخاليط غير المتجانسة والمخاليط المتجانسة (المحاليل).
- **تقارن** بين خصائص المخاليط المعلقة والمخاليط الغروية والمحاليل.
- **تصف** القوى الكهروستاتيكية في المخاليط الغروية.

مراجعة المفردات

المذاب: مادة تذوب في المذيب لتكوين المحلول.

المفردات الجديدة

المخلوط المعلّق
المخلوط الغروي
الحركة البراونية
تأثير تندال
المادة الذائبة
المادة غير الذائبة

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

أنواع المخاليط Types of Mixtures

الفكرة الرئيسة **المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.**

الربط مع الحياة إذا ملأت كأسًا زجاجية بماء البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الكأس، ويظل الماء مالحًا مهما مر من الوقت. لماذا تترسب بعض المواد دون غيرها؟

المخاليط غير المتجانسة Heterogeneous Mixtures

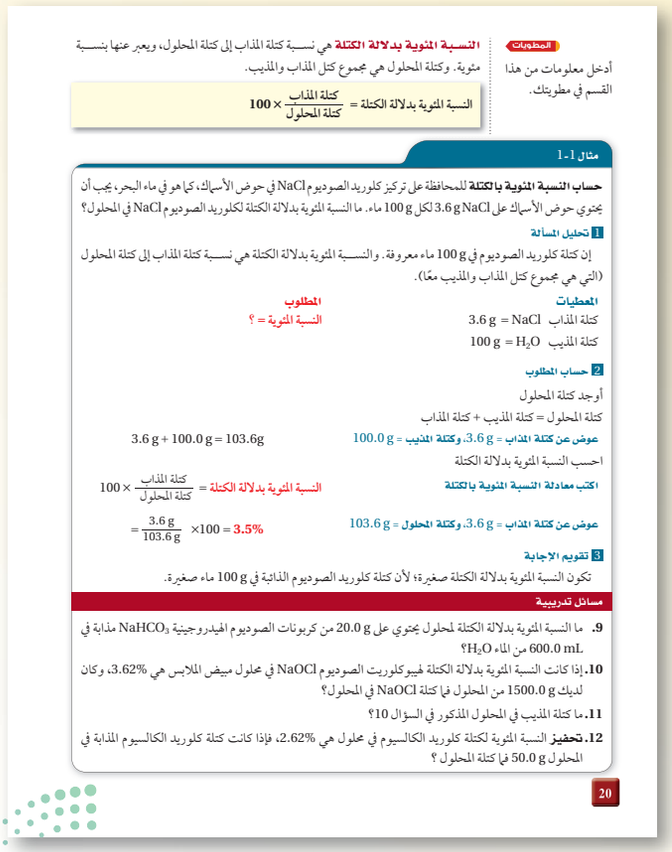
لا بد أنك تتذكر أن المخلوط مزيج من مادتين نقيتين أو أكثر، تحتفظ فيه كل مادة بخصائصها الكيميائية، وأن المخاليط غير المتجانسة لا تمتزج مكوناتها تمامًا معًا؛ أي يمكن تمييز كل منها. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

المخلوط المعلّق مخلوط غير متجانس يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق؛ وذلك بتركه فترة دون تحريك. انظر **الشكل 1-1**؛ فالوحل الذي تشاهده **مخلوط معلق**. وعند تمرير المخلوط المعلق السائل خلال ورقة ترشيح تُفصل الجسيمات المعلقة. وقد تنفصل بعض المخاليط المعلقة إلى طبقتين واضحتين إذا تركت فترة دون تحريك؛ حيث تكون مادة شبه صلبة في القاع، وسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة شبه الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وهناك أنواع من الطين تتحول إلى مادة شبه صلبة بسرعة؛ استجابة للهز أو الحركة، وهي تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيَّد المباني فوقها.

الشكل 1-1 يمكن فصل المخلوط المعلق إذا ترك دون تحريك فترة من الزمن، أو فصله بالترشيح.

14

❮ **الربط مع الحياة:** يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.



المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

النسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وكتلة المحلول هي مجموع كتل المذاب والمذيب.

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

مثال 1-1

حساب النسبة المئوية بالكتلة للمحافظة على تركيز كلوريد الصوديوم NaCl في حوض الأسماك، كما هو في ماء البحر، يجب أن يحتوي حوض الأسماك على 3.6 g NaCl لكل 100 g ماء. ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

1 تحليل المسألة

إن كتلة كلوريد الصوديوم في 100 g ماء معروفة. والنسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول (التي هي مجموع كتل المذاب والمذيب معًا).

المعطيات

كتلة المذاب $= 3.6\ g\ NaCl$

كتلة المذيب $= 100\ g\ H_2O$

المطلوب

النسبة المئوية = ؟

2 حساب المطلوب

أوجد كتلة المحلول

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المذيب = 100.0 g

$3.6\ g + 100.0\ g = 103.6\ g$

احسب النسبة المئوية بدلالة الكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المحلول = 103.6 g

$$= \frac{3.6\ g}{103.6\ g} \times 100 = 3.5\%$$

3 تقويم الإجابة

تكون النسبة المئوية بدلالة الكتلة صغيرة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم الذائبة في 100 g ماء صغيرة.

مسائل تدريبية

9. ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ مذابة في 600.0 mL من الماء H_2O؟

10. إذا كانت النسبة المئوية بدلالة الكتلة لهيبوكلوريت الصوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول فما كتلة NaOCl في المحلول؟

11. ما كتلة المذيب في المحلول المذكور في السؤال 10؟

12. تحفيز النسبة المئوية لكتلة كلوريد الكالسيوم في محلول هي 2.62%، فإذا كانت كتلة كلوريد الكالسيوم المذابة في المحلول 50.0 g فما كتلة المحلول ؟

20

❮ الأمثلة المحلولة تنقلك تدريجيًّا إلى حل مسائل في الكيمياء. عزّز المهارات التي اكتسبتها بحل التدريبات.

مهارات قرائية

- اسأل نفسك: ما الفكرة العامة ؟ وما الفكرة الرئيسة؟
- اربط المعلومات التي درستها في هذا الكتاب مع المجالات العلمية الأخرى.
- توقع أحداثًا ونتائج من خلال توظيف المعلومات التي تعرفها من قبل.
- غيّر توقعاتك وأنت تقرأ وتجمع معلومات جديدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة، وأجب عن الأسئلة لتقويم مدى فهمك لما درسته.

يختتم كل قسم بتقويم يحتوي على خلاصة وأسئلة. الخلاصة تراجع المفاهيم الرئيسة، بينما تختبر الأسئلة فهمك لما درسته.

التقويم 1-1

الخلاصة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تُظهر المخاليط الغروية والمعلقة تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلاً أو صلبًا.

1. **الفكرة الرئيسة** صف خصائص المخاليط مستخدمًا ماء البحر كمثال.
2. ميِّز بين المخلوط الغروي والمخلوط المعلق.
3. حدِّد الأنواع المختلفة للمحاليل.
4. فسر مستخدمًا تأثير تندال، لماذا تكون قيادة السيارات خلال أجواء الضباب باستخدام الأنوار العالية أصعب من القيادة باستخدام الأنوار المنخفضة؟
5. اذكر الأنواع المختلفة للمخاليط الغروية.
6. فسر لماذا تبقى جسيمات المذاب في المخلوط الغروي منتشرة فيه؟
7. **لخص** ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
8. قارن كوّن جدولاً تقارن فيه بين خصائص المخلوط المعلق والمخلوط الغروي والمحلول.

18

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوِّن عالمنا مخاليط .

1-1 أنواع المخاليط

الفكرة الرئيسة المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

المفردات

- المخلوط المعلق
- تأثير تندال
- المخلوط الغروي
- المادة الذائبة
- الحركة البراونية
- المادة غير الذائبة

الأفكار الرئيسة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تُظهر المخاليط الغروية والمعلقة تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلاً أو صلبًا.

1-2 تركيز المحلول

الفكرة الرئيسة يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.

المفردات

- التركيز
- المولالية
- المولارية
- الكسر المولي

الأفكار الرئيسة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.
- المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1 kg من المذيب.
- عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف $M_1V_1 = M_2V_2$

1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

الفكرة الرئيسة يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

المفردات

- الذوبان
- المحلول المشبع
- حرارة الذوبان
- المحلول فوق المشبع
- المحلول غير المشبع
- قانون هنري

الأفكار الرئيسة

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب لجسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينصّ قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طرديًّا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

الفكرة الرئيسة تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

المفردات

- الخواص الجامعة
- الخاصية الأسموزية
- الانخفاض في الضغط البخاري
- الارتفاع في درجة الغليان
- الضغط الأسموزي
- الانخفاض في درجة التجمد

الأفكار الرئيسة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
- يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

47

ستجد في نهاية كل فصل دليلاً للمراجعة متضمنًا المفردات والمفاهيم الرئيسة. استعمل هذا الدليل للمراجعة وللتأكد من مدى استيعابك.

طرائق أخرى للمراجعة

- اكتب **الفكرة العامة** .
- اربط **الفكرة الرئيسة** مع **الفكرة العامة**
- استعمل كلماتك الخاصة لتوضح ما قرأت.
- وظف المعلومات التي تعلمتها في المنزل، أو في موضوعات أخرى تدرسها.
- حدد المصادر التي يمكن أن تستخدمها للبحث عن مزيد من المعلومات حول الموضوع.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 1

المخاليط والمحاليل

Mixtures and Solutions



الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوِّن عالمنا مخاليط.

1-1 أنواع المخاليط

الفكرة الرئيسة المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

1-2 تركيز المحلول

الفكرة الرئيسة يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.

1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

الفكرة الرئيسة يتأثر تكوّن المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

الفكرة الرئيسة تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

حقائق كيميائية

- ينتج حوالي 42.3% من الفولاذ سنويًّا عن إعادة التدوير.
- الحديد هو المكون الأساسي للفولاذ، لكن يمكن إضافة عناصر – منها النيكل والمنجنيز والكروم والفناديوم والتنجستون – بحسب المواصفات المطلوبة.
- يستعمل الأسمنت في صناعة الخلطات الأسمنتية ومواد البناء لتقويتها، وجعلها تتحمل العوامل البيئية العادية.
- ينتج نحو 6 بلايين متر مكعب من الخلطات الأسمنتية سنويًّا. أي ما يعادل 1 متر مكعب ($1m^3$) لكل شخص سنويًّا.

تجربة استهلالية

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

تتغير الطاقة عند تكوين المحلول نتيجة تأثير قوتين: قوى التجاذب بين الجسيمات الذائبة في المحلول، وقوة التجاذب بين جسيمات المذاب والمذيب معًا. كيف يمكن ملاحظة هذا التغير؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. زن 10 g من كلوريد الأمونيوم NH_4Cl، ثم ضعها في كأس سعتها 100 mL.
3. قس 30 mL من الماء بمخبار مدرج سعته 50 mL، ثم أضف الماء إلى NH_4Cl في الكأس، وحرك المحلول **بساق التحريك**.
4. تحسس أسفل الكأس من الخارج، وسجل ملاحظاتك.
5. كرر الخطوات 4-2 مستعملاً **كلوريد الكالسيوم** $CaCl_2$ **بدلاً من** NH_4Cl.
6. تخلص من المحاليل بسكبها في المغسلة.

التحليل

1. **قارن** أي العمليتين السابقتين كانت طاردة للحرارة، وأيهما كانت ماصّة لها؟
2. **استنتج** اكتب أمثلة من واقع حياتك على عمليات ذوبان طاردة للحرارة، وأخرى ماصّة لها.

استقصاء إذا أردت زيادة التغير في درجة الحرارة، فأيهما يجب إضافته بكمية أكبر: المذاب أم المذيب ؟ فسر إجابتك.

المطويات
منظمات الأفكار

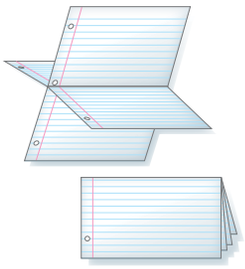
التركيز اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات حول تراكيز المحاليل.

الخطوة 1 اطو ورقتين من المنتصف أفقيًّا.



الخطوة 2 اقطع 3 cm على طول خط الثني لإحدى الورقتين من كلا الجانبين. وقص الورقة الثانية على طول خط الثني أيضًا من وسطها مع ترك 3 cm من كلا الجانبين دون قص.

الخطوة 3 أدخل الورقتين إحداهما في الأخرى لعمل كتاب من أربع صفحات.



المطويات **استعمل هذه المطوية مع القسم 2-1** في أثناء قراءتك لهذا القسم، استعمل المطوية لتسجيل ما تعلمته عن طرائق التعبير عن تراكيز المحاليل، مستعينًا بأمثلة حسابية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

1–1

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

الأهداف

- **تعرف** أنواع المخاليط غير المتجانسة والمخاليط المتجانسة (المحاليل).
- **تقارن** بين خصائص المخاليط المعلقة والمخاليط الغروية والمحاليل.
- **تصف** القوى الكهروستاتيكية في المخاليط الغروية.

مراجعة المفردات

المذاب: مادة تذوب في المذيب لتكوين المحلول.

المفردات الجديدة

المخلوط المعلّق
المخلوط الغروي
الحركة البراونية
تأثير تندال
المادة الذائبة
المادة غير الذائبة

أنواع المخاليط Types of Mixtures

الفكرة الرئيسة **المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.**

الربط مع الحياة إذا ملأت كأسًا زجاجية بماء البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الكأس، ويظل الماء مالحًا مَهْما مر من الوقت. لماذا تترسب بعض المواد دون غيرها؟

المخاليط غير المتجانسة Heterogeneous Mixtures

لا بد أنك تتذكر أن المخلوط مزيج من مادتين نقيتين أو أكثر، تحتفظ فيه كل مادة بخصائصها الكيميائية، وأن المخاليط غير المتجانسة لا تمتزج مكوناتها تمامًا معًا؛ أي يمكن تمييز كل منها. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

المخلوط المعلّق مخلوط غير متجانس يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق؛ وذلك بتركه فترة دون تحريك. انظر **الشكل 1–1**؛ فالوحل الذي تشاهده **مخلوط معلق**. وعند تمرير المخلوط المعلق السائل خلال ورقة ترشيح تُفصل الجسيمات المعلقة. وقد تنفصل بعض المخاليط المعلقة إلى طبقتين واضحتين إذا تركت فترة دون تحريك؛ حيث تتكون مادة شبه صلبة في القاع، وسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة شبه الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وهناك أنواع من الطين تتحول إلى مادة شبه صلبة بسرعة؛ استجابة للهز أو الحركة، وهي تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيَّد المباني فوقها.



الشكل 1–1 يمكن فصل المخلوط المعلق إذا ترك دون تحريك فترة من الزمن، أو فصله بالترشيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول 1-1	أنواع المخاليط الغروية وأمثلة عليها		
التصنيف	مثال	الجسيمات المنتشرة	وسط الإنتشار
صلب في صلب	الأحجار الكريمة الملونة	صلب	صلب
صلب في سائل	الدم، الجيلاتين	صلب	سائل
مستحلب صلب	الزبد، الجبن	سائل	صلب
مستحلب	الحليب، المايونيز	سائل	سائل
رغوة صلبة	الصابون الذي يطفو، حلوى الخطمي	غاز	صلب
*** الهباء الجوي الصلب**	الدخان، الغبار في الهواء	صلب	غاز
*** الهباء الجوي السائل**	الغيوم، الضباب، رذاذ مزيل العرق	سائل	غاز

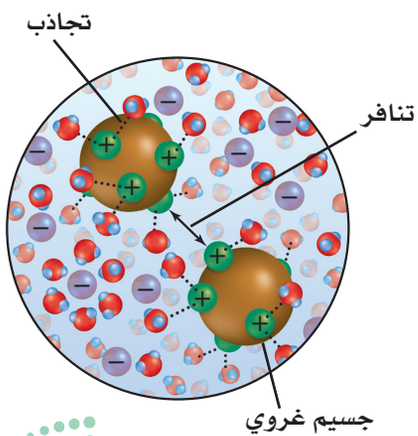
المخاليط الغروية لأن أحجام جسيمات المخلوط المعلق أكبر كثيرًا من أحجام جسيمات الوسط فإنها قد تترسب في المخلوط. ويسمى المخلوط غير المتجانس الذي يتكون من جسيمات متوسطة الحجم **المخلوط الغروي**. وتتراوح أقطار الجسيمات في المخلوط الغروي بين 1 nm و 1000 nm، ولا تترسب. فعلى سبيل المثال، يعد الحليب مخلوطًا غرويًّا لا يمكن فصل مكوناته المتجانسة بالترويق أو الترشيح.

تسمى المادة الأكثر توافرًا في المخلوط وسط الإنتشار. وتصنّف المخاليط الغروية تبعًا للحالة الفيزيائية لكل من الجسيمات المنتشرة ووسط الإنتشار. فالحليب مستحلب غروي؛ لأن الجسيمات المنتشرة السائلة تنتشر بين جسيمات وسط الإنتشار السائل. ويظهر **الجدول 1-1** وصف أنواع أخرى من المخاليط الغروية.

تُمنع الجسيمات المنتشرة من الترسب في المخاليط الغروية؛ وذلك لوجود مجموعات ذرية أو قطبية مشحونة على سطحها، تقوم بجذب المناطق الموجبة أو السالبة لجسيمات وسط الإنتشار، فتتكون طبقات كهروستاتيكية حول الجسيمات، كما هو موضح في **الشكل 2-1**، مما يجعل الطبقات يتنافر بعضها مع بعض عندما تصطدم الجسيمات المنتشرة معًا، لذا تبقى الجسيمات في المخلوط الغروي ولا تترسب.

وإذا تدخلنا في الطبقات الكهروستاتيكية فسوف تترسب الجسيمات المنتشرة في المخلوط الغروي. فعند تحريك مادة متأينة (إلكتروليتية) في مخلوط غروي مثلاً تتجمع الجسيمات المنتشرة معًا، وتتلف المخلوط الغروي. كما أن التسخين أيضًا يتلف المخلوط الغروي؛ لأن الحرارة تعطي الجسيمات المتصادمة طاقة حركية كافية للتغلب على القوى الكهروستاتيكية، ثم ترسبها في المخلوط.

الشكل 2-1 تكّون جسيمات الوسط طبقات مشحونة حول الجسيمات المنتشرة، حيث تتنافر هذه الطبقات بعضها مع بعض، وتمنع الجسيمات المنتشرة من الترسب.



* الهباء: مخلوط غروي يتكون من جسيمات دقيقة صلبة أو سائلة منتشرة في الهواء أو غاز آخر

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الحركة البراونية تتحرك الجسيمات المنتشرة في المخاليط الغروية السائلة حركة عشوائية غير منتظمة ومستمرة تسمى **الحركة البراونية**. لاحظ عالم النبات الأسكتلندي روبرت براون (1858 – 1773) هذه الحركة أول مرة؛ حيث لاحظ الحركة العشوائية لحبوب اللقاح المتناثرة في الماء، فسمِّيت باسمه.

تنتج الحركة البراونية عن تصادم جسيمات الوسط مع الجسيمات المنتشرة؛ بحيث تمنع هذه التصادمات الجسيمات المنتشرة من الترسب في المخلوط.

ماذا قرأت؟ اشرح سببين لعدم ترسب جسيمات المخلوط الغروي.

تأثير تندال يظهر المخلوط الغروي المركز عادةً معتمًا أو معكرًا، ولكن المخلوط الغروي المخفف يظهر أحيانًا صافيًا كالمحاليل. وتبدو المخاليط الغروية المخففة كالمحاليل المتجانسة؛ لأن عدد الجسيمات المنتشرة فيها قليل جدًّا، إلا أنها تعمل على تشتيت الضوء، وتسمى هذه الظاهرة **تأثير تندال**. يُظهر **الشكل 3–1** مرور حزمة من الضوء في خلال مخلوطين مجهولين. ويمكنك ملاحظة كيف تعمل الجسيمات المنتشرة في المخلوط الغروي على تشتيت الضوء.

وتُظهر المخاليط المعلقة أيضًا تأثير تندال، أما المحاليل فلا يمكن أن تظهر هذه الظاهرة. كما يمكنك ملاحظة تأثير تندال عندما تشاهد مرور أشعة الشمس خلال الهواء المشبع بالدخان، أو مرور ضوء خلال الضباب. ويستخدم تأثير تندال في تحديد كمية الجسيمات المنتشرة في المخلوط المعلق.

المخاليط المتجانسة Homogeneous Mixtures

لقد تعلمت سابقًا أن المحاليل مخاليط متجانسة تحتوي على مادتين أو أكثر، تسمى المذاب والمذيب. والمذاب هو المادة التي تذوب. أما المذيب فهو الوسط الذي يذيب المذاب. ولا يمكنك التمييز بين المذاب والمذيب عند النظر إلى المحلول.

أنواع المحاليل لقد تعلمت أن معظم التفاعلات الكيميائية تحدث في المحاليل المائية، وهي المحاليل التي يكون فيها الماء مذيبًا. فالماء أكثر المذيبات شيوعًا في المحاليل السائلة. وقد توجد المحاليل في أشكال مختلفة، وقد تكون المواد الذائبة في المحاليل غازية أو سائلة أو صلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب، كما هو موضح في **الجدول 2–1**. الهواء محلول غازي والمذيب فيه هو غاز النيتروجين. وقد تكون أسلاك تقويم الأسنان التي تضعها على أسنانك مصنوعة من النيتينول، وهو محلول صلب يتكون من التيتانيوم المذاب في النيكل، إلا أن معظم المحاليل تكون في الحالة السائلة.

تكوين المحاليل تسمى المادة التي تذوب في المذيب **المادة الذائبة**. فمثلاً ذوبان السكر في الماء حقيقة يمكن أن تكون قد تعلمتها من إذابة السكر في الماء لعمل



(1) (2)

الشكل 3 – 1

تشتت الجسيمات في المخلوط الغروي الضوء كما يظهر في الشكل (2)، ولا يحدث ذلك في المحلول (شكل 1). ويسمى ذلك تأثير تندال. لذا ترى حزمة الضوء في المخلوط (2) الغروي.

حدد أي المخاليط الظاهرة في الصورة غروي ؟

الكيمياء في واقع الحياة

ظاهرة تندال



تشكل أشعة الشمس عند مرورها داخل الغيوم لوحة فنية رائعة الجمال بقدرة الله عز وجل. ويمكنك ملاحظة ظاهرة تندال عند مرور أشعة الشمس من خلال الهواء المشبع بالدخان أو من خلال الضباب أو الغيوم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر تحليل البيانات

تصميم تجربة

كيف يمكنك قياس التعكر؟ وضعت هيئة المواصفات والمقاييس لماء الشرب مجموعة من المعايير والمواصفات لضمان سلامته. ومن المواصفات التي يتم مراقبتها التعكر، وهو مقياس لدرجة الضبابية في الماء، الناتجة عن المواد الصلبة المعلقة في الماء، والتي تكون مرتبطة غالبًا مع التلوث ومع الفيروسات والطفيليات والبكتيريا. تأتي معظم هذه الجسيمات الغروية من التعرية، والنشاط الصناعي، وفضلات الإنسان، ونمو الطحالب، ومن الأسمدة، وتحلل المواد العضوية.

البيانات والملاحظات

يمكن استخدام تأثير تندال في قياس تعكر الماء. والهدف تصميم تجربة وتطوير مقياس لتفسير البيانات.

التفكير الناقد

1. **حدّد** المتغيرات التي يمكن أن تستخدم للربط بين قدرة الضوء على المرور خلال السائل وعدد الجسيمات في المخلوط الغروي.
2. **اربط** بين المتغيرات التي استخدمتها في التجربة والعدد الحقيقي للجسيمات في المخلوط الغروي.
3. **حلل** ما احتياطات السلامة التي يجب اتخاذها؟
4. **حدّد** المواد اللازمة لقياس تأثير تندال، واختر تقنية لجمع أو تفسير البيانات.

شراب محلًّى كالشاي أو عصير الليمون. وتسمى المادتان السائلتان اللتان تذوب إحداهما في الأخرى بأي نسبةٍ الموادَّ القابلة للامتزاج، ومنها مانع التجمد المذكور في **الجدول 2-1**. وتُسمى المادة التي لا تذوب في المذيب **مادة غير ذائبة**. فالرمل مثلًا لايذوب في الماء. وتسمى السوائل التي تمتزج معًا فترة قصيرة عند خلطها، ثم تنفصل بعدها- السوائلَ غير الممتزجة. فالزيت مثلاً لايمتزج مع الخل؛ أي أنّ الزيت لايذوب في الخل.

الجدول 2-1 أنواع المحاليل وأمثلة عليها

أنواع المحاليل	مثال	المذيب	المذاب
غاز	الهواء	النيتروجين (غاز)	الأكسجين (غاز)
سائل	ماء غازي	الماء (سائل)	ثاني أكسيد الكربون (غاز)
غاز	الرطوبة	الهواء الجوي (غاز)	الماء (سائل)
سائل	مانع التجمد	الماء (سائل)	الإثيلين جلايكول (سائل)
سائل	ماء البحر	الماء (سائل)	كلوريد الصوديوم (صلب)
صلب	مملغم الأسنان	الفضة (صلب)	الزئبق (سائل)
صلب	الفولاذ	الحديد (صلب)	الكربون (صلب)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

التقويم 1-1

الخلاصة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تُظهر المخاليط الغروية والمعلقة تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلاً أو صلبًا.

1. **الفكرة الرئيسة** **صف** خصائص المخاليط مستخدمًا ماء البحر كمثال.
2. **ميِّز** بين المخلوط الغروي والمخلوط المعلق.
3. **حدّد** الأنواع المختلفة للمحاليل.
4. **فسر** مستخدمًا تأثير تندال، لماذا تكون قيادة السيارات خلال أجواء الضباب باستخدام الأنوار العالية أصعب من القيادة باستخدام الأنوار المنخفضة؟
5. **اذكر** الأنواع المختلفة للمخاليط الغروية.
6. **فسر** لماذا تبقى جسيمات المذاب في المخلوط الغروي منتشرة فيه؟
7. **لخص** ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
8. **قارن** كوِّن جدولاً تقارن فيه بين خصائص المخلوط المعلق والمخلوط الغروي والمحلول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-2

الأهداف

- **تصف** التركيز باستعمال وحدات مختلفة.
- **تحدّد** تراكيز المحاليل.
- **تحسب** مولارية المحلول.

مراجعة المفردات

المذيب: المادة التي تذيب المذاب لتكوين محلول.

المفردات الجديدة

التركيز

المولارية

المولالية

الكسر المولي

تركيز المحلول

Solution Concentration

الفكرة الرئيسة **يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو بالمولات.**

الربط مع الحياة هل تذوقت يومًا كأس شاي فوجدته مُرًّا؟ إنك لكي تعدل طعمه سوف تقوم بإضافة السكر لتحليته، أو تضيف الماء لتخفيفه. وما تقوم به في كلتا الحالتين هو تغيير تركيز الجسيمات المذابة في الماء.

التعبير عن التركيز Expressing Concectration

يعد **تركيز** المحلول مقياسًا يعبر عن كمية المذاب الذائبة في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ويمكن التعبير عن التركيز وصفيًّا باستعمال كلمة "مركّز" أو "مخفّف". لاحظ إبريقَي الشاي في **الشكل 4-1**؛ فأحد الإبريقين يحوي شايًا أكثر تركيزًا من الآخر. وعمومًا يحتوي المحلول المركز على كمية كبيرة من المذاب. فالشاي الغامق يحتوي على جسيمات شاي أكثر من الشاي الفاتح ، والعكس صحيح؛ إذ يحتوي المحلول المخفّف على كمية أقل من المذاب؛ فالشاي الفاتح في **الشكل 4-1** محلول مخفف يحتوي على جسيمات شاي أقل من الشاي الغامق.

وعلى الرغم من أن التعبير الوصفي عن التركيز مفيد، إلا أنه غالبًا ما يتم التعبير عن التركيز كمّيًّا. ومن أكثر التعابير الكمية عن التركيز شيوعاً النسبة المئوية بالكتلة أو النسبة المئوية بالحجم أو التعبير عن التركيز بدلالة المولات مستخدماً المولارية أو المولالية . وكل هذه الطرائق تعبر عن التركيز بوصفه نسبة بين كمية المذاب وبين كمية المذيب أو المحلول كله. ويشمل **الجدول 3-1** وصفًا لكل طريقة.

كيف يمكن تحديد الطريقة المستخدمة للتعبير عن تركيز المحلول؟ يعتمد استعمال الطريقة على نوع المحلول الذي يتم تحليله، فإذا كان أحد الكيميائيين مثلاً يعمل على تفاعل في محلول مائي فسوف يستعمل المولارية غالبًا للتعبير عن تركيز المحلول؛ لأنه يحتاج إلى معرفة عدد الجسيمات المشاركة في التفاعل.

الجدول 3-1 **نسب التركيز**

وصف التركيز	النسبة
النسبة المئوية بدلالة الكتلة	$\frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$
النسبة المئوية بدلالة الحجم	$\frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} \times 100$
المولارية (التركيز المولاري)	$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (L)}}$
المولالية (التركيز المولالي)	$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب kg}}$
الكسر المولي	$\frac{\text{عدد مولات المذاب أو المذيب}}{\text{عدد مولات المذاب + عدد مولات المذيب}}$

الشكل 4-1 تعكس شدة اللون تركيز الشاي، فتركيز الشاي ذو اللون الغامق أعلى من تركيز الشاي ذي اللون الفاتح.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

النسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وكتلة المحلول هي مجموع كتل المذاب والمذيب.

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

مثال 1-1

حساب النسبة المئوية بالكتلة للمحافظة على تركيز كلوريد الصوديوم NaCl في حوض الأسماك، كما هو في ماء البحر، يجب أن يحتوي حوض الأسماك على 3.6 g NaCl لكل 100 g ماء. ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

1 تحليل المسألة

إن كتلة كلوريد الصوديوم في 100 g ماء معروفة. والنسبة المئوية بدلالة الكتلة هي نسبة كتلة المذاب إلى كتلة المحلول (التي هي مجموع كتل المذاب والمذيب معًا).

المعطيات

كتلة المذاب $NaCl = 3.6\ g$

كتلة المذيب $H_2O = 100\ g$

المطلوب

النسبة المئوية = ؟

2 حساب المطلوب

أوجد كتلة المحلول

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المذيب = 100.0 g

$$3.6\ g + 100.0\ g = 103.6g$$

احسب النسبة المئوية بدلالة الكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الكتلة} = \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}} \times 100$$

عوض عن كتلة المذاب = 3.6 g، وكتلة المحلول = 103.6 g

$$= \frac{3.6\ g}{103.6\ g} \times 100 = \mathbf{3.5\%}$$

3 تقويم الإجابة

تكون النسبة المئوية بدلالة الكتلة صغيرة؛ لأن كتلة كلوريد الصوديوم الذائبة في 100 g ماء صغيرة.

مسائل تدريبية

9. ما النسبة المئوية بدلالة الكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$ مذابة في 600.0 mL من الماء H_2O؟

10. إذا كانت النسبة المئوية بدلالة الكتلة لهيبوكلوريت الصوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول فما كتلة NaOCl في المحلول؟

11. ما كتلة المذيب في المحلول المذكور في السؤال 10؟

12. تحفيز النسبة المئوية لكتلة كلوريد الكالسيوم في محلول هي 2.62%، فإذا كانت كتلة كلوريد الكالسيوم المذابة في المحلول 50.0 g فما كتلة المحلول ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

النسبة المئوية بدلالة الحجم تصف عادة المحاليل التي يكون فيها المذيب والمذاب في الحالة السائلة. والنسبة المئوية بدلالة الحجم هي النسبة بين حجم المذاب إلى حجم المحلول، ويعبر عنها بنسبة مئوية. وحجم المحلول هو مجموع حجم المذاب وحجم المذيب. إن حسابات النسبة المئوية بدلالة الحجم تشبه حسابات النسبة المئوية بدلالة الكتلة.

$$\text{النسبة المئوية بدلالة الحجم} = \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} \times 100$$

ماذا قرأت؟ **قارن** بين النسبة المئوية بدلالة الكتلة والحجم.

مسائل تدريبية

13. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 35 mL إيثانول مذاب في 155 mL ماء؟

14. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم لكحول أيزوبروبيل في محلول يحتوي على 24 mL من كحول الأيزوبروبيل مذاب في 1.1 L من الماء؟

15. تحفيز إذا استعمل 18 mL من الميثانول لعمل محلول مائي منه تركيزه 15% بالحجم، فما حجم المحلول الناتج بالملليتر؟

المولارية (التركيز المولاري) (M) إن النسبة المئوية بدلالة الكتلة وبدلالة الحجم طريقتان من طرائق التعبير الكمي عن تركيز المحلول. ومن أكثر الوحدات شيوعًا المولارية Molarity. والمولارية (M) هي عدد مولات المذاب الذائبة في لتر من المحلول، وتعرف أيضًا بالتركيز المولاري. فتركيز لتر من محلول يحتوي على مول من المذاب هو 1.0 M، كما أن تركيز لتر من المحلول يحتوي على 0.1 mol من المذاب هو 0.1 M. ولحساب مولارية المحلول يجب معرفة حجم المحلول باللتر وعدد مولات المذاب.

المولارية

$$\text{المولارية M} = \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}}$$

ماذا قرأت؟ **احسب** التركيز المولاري لمحلول حجمه 1.0 L، يحتوي على 0.5 mol من المذاب.

الكيمياء في واقع الحياة

الديزل الحيوي



يعد الديزل الحيوي وقودًا بديلاً نظيف الاحتراق، وهو ينتج عن موارد متجددة مثل الزيوت النباتية، والدهون الحيوانية، ويستعمل في محركات الديزل مع القليل من التحسينات أو دونها. والديزل الحيوي سهل الاستعمال وقابل للتحلل الحيوي، وغير سام، ولا يحتوي على الكبريت أو المركبات الأروماتية (العطرية)، كما أنه لا يحتوي على النفط، ولكن يمكن مزجه مع ديزل "النفط" لتكوين الديزل الحيوي الممزوج؛ الذي يتكون من 20 % بالحجم ديزل حيوي و80 % بالحجم ديزل من النفط.

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA اقتصاد مزدهر

3.2.4 زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مهن في الكيمياء

فنيو الصيدلة يستعين الكثير من الصيادلة بالفنيين لتحضير الأدوية المناسبة للوصفات الطبية. يقرأ هؤلاء الفنيون تحاليل وتقارير المريض والوصفات الطبية من أجل تحضير التركيز المناسب أو الجرعة المناسبة من الأدوية التي ستعطى للمريض.

مثال 2-1

حساب المولارية يحتوي 100.5 mL من محلول حقن الوريد على 5.10 g من سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$. ما مولارية هذا المحلول، إذا علمت أن الكتلة المولية للجلوكوز هي 180.16g /mol؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت كتلة الجلوكوز الذائبة في حجم من الماء، ومولارية المحلول هي النسبة بين عدد مولات المذاب إلى حجم المحلول باللتر.

المعطيات

كتلة المذاب $C_6H_{12}O_6$ = 5.10 g

الكتلة المولية للجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ = 180.16 g /mol

حجم المحلول = 100.5 mL

المطلوب

تركيز المحلول = ؟ M

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات $C_6H_{12}O_6$

بتطبيق العلاقة الرياضية

عدد مولات المذاب = الكتلة (g) للمذاب / الكتلة المولية

اقسم كتلة $C_6H_{12}O_6$ على الكتلة المولية

$$= 5.10\ g\ C_6H_{12}O_6 \left(\frac{1\ mol\ C_6H_{12}O_6}{180.16\ g\ C_6H_{12}O_6}\right)$$

$$= 0.0283\ mol\ C_6H_{12}O_6$$

وحول حجم المحلول إلى وحدة لتر

اكتب معادلة المولارية

$$= 100.5\ mL \left(\frac{1\ L}{1000\ mL}\right) = 0.1005\ L$$

عوض عن عدد مولات المذاب = 0.0283 mol

وحجم المحلول = 0.1005 L

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (L)}}$$

اقسم الأرقام والوحدات

$$M = \frac{0.0283\ mol\ C_6H_{12}O_6}{0.1005 L} = \mathbf{0.282\ M}$$

3 تقويم الإجابة

ستكون قيمة المولارية صغيرة؛ لأن عدد مولات الجلوكوز قليلة بالنسبة إلى حجم المحلول.

مسائل تدريبية

16. ما مولارية محلول مائي يحتوي على 40.0 g من الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ في 1.5 L من المحلول؟

17. احسب مولارية محلول حجمه 1.60 L مذاب فيه 1.5g من بروميد البوتاسيوم KBr.

18. ما مولارية محلول مبيض ملابس يحتوي على 9.5 g NaOCl لكل لتر من المحلول؟

19. تحفيز ما كتلة هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بوحدة g التي تلزم لتحضير محلول مائي منها حجمه 1.5 L وتركيزه 0.25 M؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تحضير المحاليل القياسية تستعمل في المختبر محاليل لها تراكيز محددة تسمى المحاليل القياسية، ومنها محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 1M

كيف يمكنك تحضير محلول مائي حجمه 1L وتركيزه 1.50M من كبريتات النحاس II المائية والتي لها الصيغة $CuSO_4.5H_2O$؟ يحتوي محلول $CuSO_4.5H_2O$ الذي تركيزه 1.5mol على $CuSO_4.5H_2O$ مذابة في 1 L من المحلول. فإذا عرفت أن الكتلة المولية للمركب $CuSO_4.5H_2O$ هي 249.70 g /mol، وأن المحلول يحتوي على 1.50 mol من $CuSO_4.5H_2O$، فتكون كتلته 374.55 g ويمكن تقريبها إلى 375 g، وهي كتلة يمكن قياسها بالميزان

$$\frac{1.50\ \text{mol}\ CuSO_4{\cdot}5H_2O}{\text{L من المحلول}} \times \frac{249.7\ \text{g}\ CuSO_4{\cdot}5H_2O}{1\ \text{mol}\ CuSO_4{\cdot}5H_2O} = \frac{375\ \text{g}\ CuSO_4{\cdot}5H_2O}{\text{1L من المحلول}}$$

ولكن لا يمكنك إضافة 375 g $CuSO_4.5H_2O$ إلى 1.0 L من الماء للحصول على محلول تركيزه 1.5 M بهذه البساطة؛ تعمل $CuSO_4.5H_2O$ مثل المواد الأخرى، على زيادة حجم المحلول عن الحجم المطلوب. لذلك يجب استعمال كمية من الماء تقل عن 1.0 L للحصول على 1.0 L من المحلول، كما هو موضح في **الشكل 5–1**.

أحيانًا نجري تجارب تتطلب استعمال كميات صغيرة من المحلول. فعلى سبيل المثال، قد تحتاج إلى 100 mL من 1.50 M $CuSO_4.5H_2O$ لإجراء إحدى التجارب. بالرجوع إلى تعريف المولارية، ومن خلال الحسابات السابقة نجد أنَّ محلول $CuSO_4.5H_2O$ الذي تركيزه 1.50 M يحتوي محلول $CuSO_4.5H_2O$ الذي تركيزه 1.5 M على 1.5mol من $CuSO_4.5H_2O$ مذابة في 1L من المحلول على 375 g من كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$.

يمكن استعمال هذه العلاقة بوصفها معامل تحويل لحساب كمية المذاب اللازمة لتجربتك.

$$100\ \text{mL} \times \frac{1\ \text{L}}{1000\ \text{mL}} \times \frac{375\ \text{g}\ CuSO_4{\cdot}5H_2O}{1\ \text{L}} = 37.5\ \text{g}\ CuSO_4 \cdot 5H_2O$$

لذلك تحتاج إلى قياس 37.5 g $CuSO_4.5H_2O$ لعمل 100 mL من محلول تركيزه 1.5 M.



خطوة 1 تقاس كتلة المذاب وتضاف إلى دورق حجمي مناسب.



خطوة 2 يذاب المذاب في دورق حجمي مناسب في أقل كمية من الماء المقطر.



خطوة 3 يضاف الماء المقطر إلى المذاب حتى يصل مستوى المحلول إلى العلامة المحددة على الدورق.

الشكل 5–1 يبين خطوات تحضير محلول كبريتات النحاس.

فسر لماذا لا يمكنك وضع 375 g من كبريتات النحاس مباشرة في 1.0 L من الماء لتحضير محلول تركيزه 1.5 M؟

مسائل تدريبية

20. ما كتلة $CaCl_2$ الذائبة في 1 L من محلول تركيزه 0.10 M؟

21. ما كتلة $CaCl_2$ اللازمة لتحضير 500.0 mL من محلول تركيزه 0.20 M؟

22. ما كتلة NaOH في محلول مائي حجمه 250 mL وتركيزه 3.0 M؟

23. تحفيز ما حجم الإيثانول في 100.0 mL من محلول تركيزه 0.15 M، إذا علمت أن كثافة الإيثانول هي 0.7893 g /mL؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 6–1 يمكن تخفيف المحلول المركز بإضافة كمية من المذيب. لاحظ أن عدد مولات المذاب لا يتغير عند تخفيف المحلول المركز.

المفردات

مفردات أكاديمية

مركّز Concentrated

يخفف قليلاً

كأن نقول مثلاً:

أضفنا ماء أكثر إلى عصير الليمون؛ لأنه مركز جدًّا.

تخفيف المحاليل المولارية تذكر أن المحاليل المركزة تحتوي على كمية كبيرة من المذاب. ويمكنك تحضير محلول أقل تركيزًا عن طريق تخفيف كمية من المحلول القياسي بإضافة المزيد من المذيب، إذ يزيد عدد الجسيمات التي تتحرك خلالها جسيمات المذاب، كما هو موضح في **الشكل 6–1**، ومن ثم يقل تركيز المحلول.

كيف يمكنك تحديد حجم المحلول القياسي اللازم تخفيفه؟

$$\text{المولارية M} = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (L)}} \text{ ، } M = \frac{mol}{L}$$

عدد مولات المذاب = المولارية × حجم المحلول باللتر.

ولأن عدد مولات المذاب لا يتغير بالتخفيف فإن عدد مولات المذاب في المحلول قبل التخفيف يساوي عدد مولات المذاب بعد التخفيف.

وبالتعويض عن عدد مولات المذاب بالمولارية مضروبة في حجم المحلول باللتر يمكن التعبير عن هذه العلاقة في معادلة التخفيف الآتية:

معادلة التخفيف

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

M = المولارية

V = الحجم

حيث أن M_1: المولارية قبل التخفيف، و V_1: الحجم قبل التخفيف، و M_2: المولارية بعد التخفيف، و V_2 الحجم بعد التخفيف.

تمثل M_1 و V_1 المولارية وحجم المحلول القياسي. وتمثل M_2 و V_2 مولارية وحجم المحلول المخفف. يحتوي المحلول المركز قبل التخفيف على نسبة عالية من جسيمات المذاب بالنسبة إلى جسيمات المذيب، لاحظ أن هذه النسبة تقل بعد إضافة كمية أخرى من المذيب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 3-1

تخفيف المحلول القياسي إذا كنت تعرف حجم وتركيز المحلول المطلوب تحضيره يمكنك حساب حجم المحلول القياسي الـذي تحتاج إليه. ما الحجم اللازم بالملليترات لتحضير محلول من كلوريد الكالسـيوم $CaCl_2$ تركيزه 0.300 M وحجمه 0.5 L إذا كان تركيز محلوله القياسي 2.00 M؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت مولارية محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ والمولارية والحجم للمحلول بعد التخفيف، وباستعمال العلاقة بين المولارية والحجم يمكن إيجاد حجم المحلول القياسي اللازم باللتر ثم تحويله إلى ملليتر.

المعطيات

$M_1 = 2.00\ M\ CaCl_2$

$M_2 = 0.300\ M$

$V_2 = 0.50\ L$

المطلوب

$V_1 = ?\ mL$

2 حساب المطلوب

حل المعادلة لإيجاد حجم المحلول القياسي V_1

اكتب معادلة التخفيف

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

حل لإيجاد V_1

$$V_1 = V_2\left(\frac{M_2}{M_1}\right)$$

عوض $V_2 = 0.50\ L$ ، $M_2 = 0.300\ M$ ، $M_1 = 2.00\ M$

$$V_1 = (0.50\ L)\left(\frac{0.300\ M}{2.00\ M}\right)$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$V_1 = (0.50\ L)\left(\frac{0.300\ M}{2.00\ M}\right) = 0.075\ L$$

حول إلى ملليتر باستعمال معامل التحويل $1000\ mL/1L$

$$V_1 = (0.075\ L)\left(\frac{1000\ mL}{1\ L}\right) = \mathbf{75\ mL}$$

قس 75 mL من المحلول القياسي، ثم خففه بكمية الماء اللازمة للحصول على الحجم النهائي 0.5 L.

3 تقويم الإجابة

تم حسـاب الحجم V_1، وتحويله إلى ملليترات، ويجب أن يكون أقل من الحجم النهائي للمحلول المخفف V_2، وهو من معطيات المسألة.

مسائل تدريبية

24. ما حجم المحلول القياسي KI الذي تركيزه 3.00 M اللازم لتحضير محلول مخفف منه تركيزه 1.25 M وحجمه 0.300 L؟

25. ما حجم المحلول القياسي H_2SO_4 الذي تركيزه 0.50 M بالملليترات اللازم لتحضير محلول مخفف منه حجمه 100 mL وتركيزه 0.25 M؟

26. تحفيز إذا خفف 0.5 L من المحلول القياسي HCl الذي تركيزه 5 M ليصبح 2 L فما كتلة HCl في المحلول؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

المولاليـة (التركيز المولالي) (m) يتغير حجـم المحلول عند تغير درجة الحرارة؛ فقد يتمدد أو يتقلص، مما يؤثـر في مولارية المحلول. لكن لا تتأثر كتل المـواد في المحلول بدرجات الحرارة، لذا مـن المفيد أحيانًا وصف المحاليل بعدد مولات المذاب في كتلة معينة من المذيب. ويسـمى مثل هذا الوصف **المولالية**، ويرمز إليه بالرمز m. ويكون تركيز المحلول الذي يحتوي على 1 mol من المذاب في 1 kg من المذيب 1 m (1 محلول مولالي).

المولالية

$$\text{المولالية } m = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب (kg)}}$$

مثال 4-1

حساب المولالية أضاف طالب في إحدى التجارب 4.5 g من كلوريد الصوديوم إلى 100.0 g من الماء. احسب مولالية المحلول.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت كتلة المذيب والمذاب. حدد عدد مولات المذاب، ثم احسب المولالية.

المعطيات

كتلة الماء $100.0\ g = H_2O$

كتلة كلوريد الصوديوم $4.5\ g = NaCl$

المطلوب

m=? mol/kg

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات NaCl

$$4.5\ g\ NaCl \times \frac{1\ mol\ NaCl}{58.44\ g\ NaCl} = 0.077\ mol\ NaCl$$

حول كتلة H_2O من جرامات إلى كيلوجرامات باستعمال معامل التحويل 1kg / 1000 g

$$100.0\ g\ H_2O \times \frac{1\ kg\ H_2O}{1000\ g\ H_2O} = 0.1000\ kg\ H_2O$$

عوض بالمعطيات في معادلة المولالية.

اكتب معادلة المولالية

$$\text{المولالية } (m) = \frac{\text{عدد مولات المذاب mol}}{\text{كتلة المذيب kg}}$$

عوض عن عدد مولات المذاب 0.077 mol NaCl وكتلة المذيب 0.1000 kg H_2O

$$m = \frac{0.077\ mol\ NaCl}{0.1000\ kg\ H_2O} = 0.77\ mol/kg$$

3 تقويم الإجابة

هناك أقل من 1 /10 mol من المذاب في 1 /10 Kg من الماء، لذا ستكون المولالية أقل من واحد، وهي كذلك.

مسائل تدريبية

27. ما مولالية محلول يحتوي على 10.0 g من كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ذائبة في 1000.0 g ماء؟

28. تحفيز ما كتلة $Ba(OH)_2$ بالجرامات، اللازمة لتحضير محلول مائي تركيزه 1.00 m؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الكسر المولي إذا عرفت عدد مولات المذاب والمذيب أمكنك التعبير عن تركيز المحلول بما يعرف **بالكسر المولي**، وهو نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذيب والمذاب. يستعمل الرمز X عادة للكسر المولي مع الإشارة إلى المذيب أو المذاب. ويمكن التعبير عن الكسر المولي للمذيب X_A والكسر المولي للمذاب X_B كما يأتي:

الكسر المولي

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \qquad X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

X_A و X_B يمثلان الكسر المولي لكل مادة.

n_A و n_B يمثلان عدد مولات كل مادة.

فعلى سبيل المثال: يحتوي 100 g من محلول حمض الهيدروكلوريك على 36 g HCl و 64 g H_2O، ولتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية بوصفها عوامل تحويل.

$$n_{HCl} = 36\ g\ HCl \times \frac{1\ mol\ HCl}{36.5\ g\ HCl} = 0.99\ mol\ HCl$$

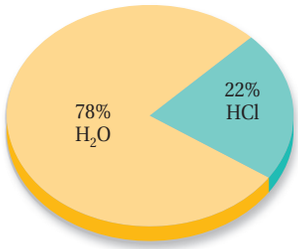
$$n_{H_2O} = 64\ g\ H_2O \times \frac{1\ mol\ H_2O}{18.0\ g\ H_2O} = 3.6\ mol\ H_2O$$

يُعبَّر عن الكسر المولي لكل من الماء وحمض الهيدروكلوريك كما يأتي كما هو موضح في **الشكل 7–1** كما يأتي:

$$X_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{0.99\ mol\ HCl}{0.99\ mol\ HCl + 3.6\ mol\ H_2O} = 0.22$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{3.6\ mol\ H_2O}{0.99\ mol\ HCl + 3.6\ mol\ H_2O} = 0.78$$

محلول حمض الهيدروكلوريك



$X_{HCl} + X_{H_2O} = 1.00$

$0.22 + 0.78 = 1.00$

الشكل 7–1 يشير الكسر المولي إلى عدد مولات المذاب والمذيب بالنسبة إلى عدد المولات الكلي في المحلول. ويمكن النظر إلى الكسر المولي على أنه نسبة مئوية، فمثلاً إذا كان الكسر المولي للماء (X_{H_2O}) يساوي 0.78؛ فهذا يعني أن المحلول يحوي 78% من الماء.

مسائل تدريبية

29. ما الكسر المولي لهيدروكسيد الصوديوم NaOH في محلول مائي منه يحتوي على 22.8% بالكتلة من NaOH؟

30. تحفيز إذا كان الكسر المولي لحمض الكبريتيك H_2SO_4 في محلول مائي يساوي 0.325 فما كتلة الماء بالجرامات الموجودة في 100 mL من المحلول؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

التقويم 1-2

الخلاصة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.
- المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1kg من المذيب.
- عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

31. الفكرة الرئيسة **قارن** بين خمس طرائق للتعبير عن تراكيز المحاليل كميًّا.

32. وضِّح التشابه والاختلاف بين 1M من محلول NaOH و $1m$ من محلول NaOH.

33. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم في علبة حساء الدجاج إذا احتوت على 450 mg كلوريد صوديوم في 240.0 g من الحساء.

34. أوجد كتلة كلوريد الأمونيوم NH_4Cl بالجرامات اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 2.5 L وتركيزه 0.5 M ؟

35. لخص الخطوات العملية لتحضير محلول مخفف بحجم معين من المحلول القياسي المركز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–3

الأهداف

- **تصف** تأثير قوى التجاذب بين الجزئيات في الذوبان.
- **تعرف** الذائبية.
- **تستنتج** العوامل المؤثرة في الذوبان.

مراجعة المفردات

طارد للحرارة: التفاعل الكيميائي الذي يطلق طاقة أكثر مما يحتاج لكسر روابط المواد المتفاعلة.

المفردات الجديدة

الذوبان

حرارة الذوبان

المحلول غير المشبع

المحلول المشبع

المحلول فوق المشبع

قانون هنري

العوامل المؤثرة في الذوبان
Factors Affecting Solvation

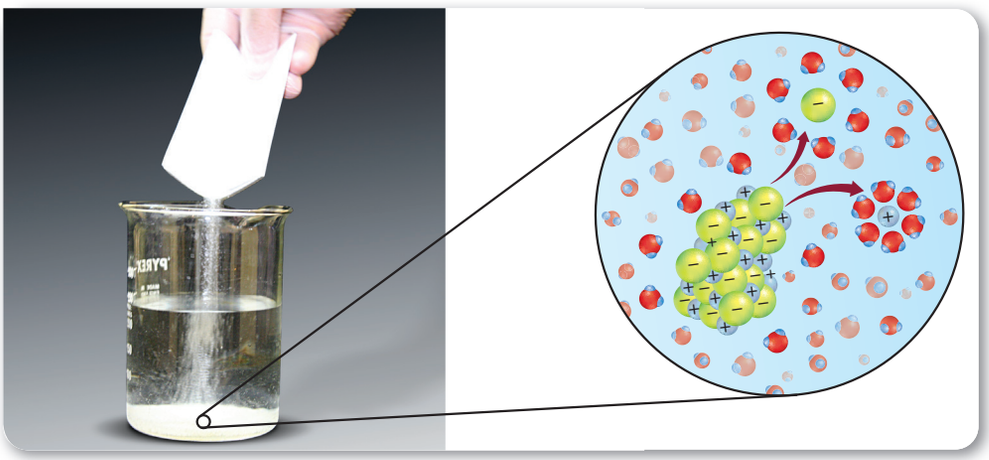
الفكرة الرئيسة **يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.**

الربط مع الحياة عند تحضير حساء من خليط جاف فإنك تضيف الماء البارد إلى الخليط، ثم تحركه، وسوف تلاحظ أن كمية قليلة من المسحوق ذابت في البداية، وبعد تسخينه وتحريكه مرة أخرى تجد أن المسحوق قد ذاب، وأصبح لديك حساء متماسك.

عملية الذوبان The Solvation Process

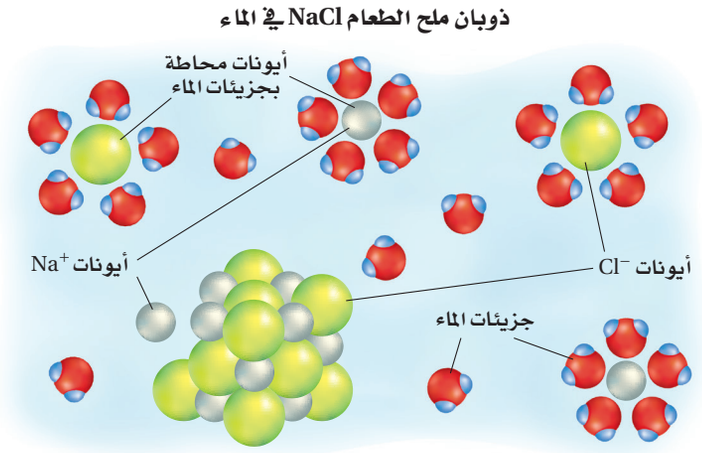
عند وضع مذاب صلب في مذيب، تحيط جسيمات المذيب بسطح المذاب الصلب تمامًا. فإذا كانت قوى التجاذب المتكونة بين جسيمات المذاب والمذيب أكبر من قوى التجاذب بين جسيمات المذاب نفسه فسوف تجذب جسيماتُ المذيب جسيماتِ المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وتحيط بها، ثم تبتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب، وتتجه نحو المحلول.

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في **الشكل 8–1**، فالمذيب يذيب شبيهه "like dissolves like"، قاعدة عامة تستعمل لتحديد ما إذا كانت عملية الذوبان تحدث في مذيب معين. ولتحديد ما إذا كان المذيب والمذاب متماثلين يجب دراسة قطبية المركبات ونوع الروابط بين الجزيئية فيها.



الشكل **1-8** يأخذ الملح في الانفصال عندما يوضع في الماء؛ إذ تسحب جسيمات المذاب وتحاط بجسيمات المذيب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **1-9** يذوب كلوريد الصوديوم في الماء عندما تحيط جزيئات الماء بأيونات الصوديوم والكلوريد. لاحظ كيف تحيط جزيئات الماء القطبية بكل من أيونات الكلور السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة.

محاليل المركبات الأيونية تعلم أن جزيئات الماء قطبية، وأنها في حركة مستمرة، بحسب نظرية الحركة الجزيئية. فعند وضع بلورة من مركب أيوني مثل كلوريد الصوديوم (NaCl) في الماء تصطدم جزيئات الماء بسطح البلورة. وعندها تجذب أقطابُ جزيئات الماء المشحونة أيوناتِ الصوديوم الموجبة وأيونات الكلوريد السالبة. وهذا التجاذب بين الأقطاب والأيونات أكبر من التجاذب بين الأيونات في البلورة. لذلك تنزلق الأيونات مبتعدة عن سطح البلورة. وتحيط جزيئات الماء بالأيونات وتسحبها نحو المحلول، معرِّضةً أيونات أخرى على سطح البلورة للذوبان، وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كلها، انظر **الشكل 9-1**.

لا يمكن إذابة جميع المركبات الأيونية في الماء؛ فالجبس مثلًا لا يذوب في الماء؛ لأن قوى التجاذب بين أيونات الجبس قوية؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب بين جزيئات الماء والأيونات التغلب عليها. ولقد أسهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة ـ ومنها الجبيرة الطبية المحضرة من الجبس ـ في تطوير الكثير من المنتجات والعمليات، كما هو موضح في **الشكل 10-1**.

الشكل **1-10** **كيمياء المحاليل**

أسهم العلماء العاملون في مجال المحاليل الكيميائية في تطوير منتجات وعمليات تتضمن مجالات التقنية الطبية، وتحضير الطعام وحفظه، والصحة العامة والسلامة.

1883م أول نجاح لعملية طرد مركزي تستعمل الدوران السريع لفصل مكونات المخلوط.

1916م طوَّر الأطباء محلول الجلسرول الذي يسمح بتخزين الدم عدة أسابيع بعد سحبه.



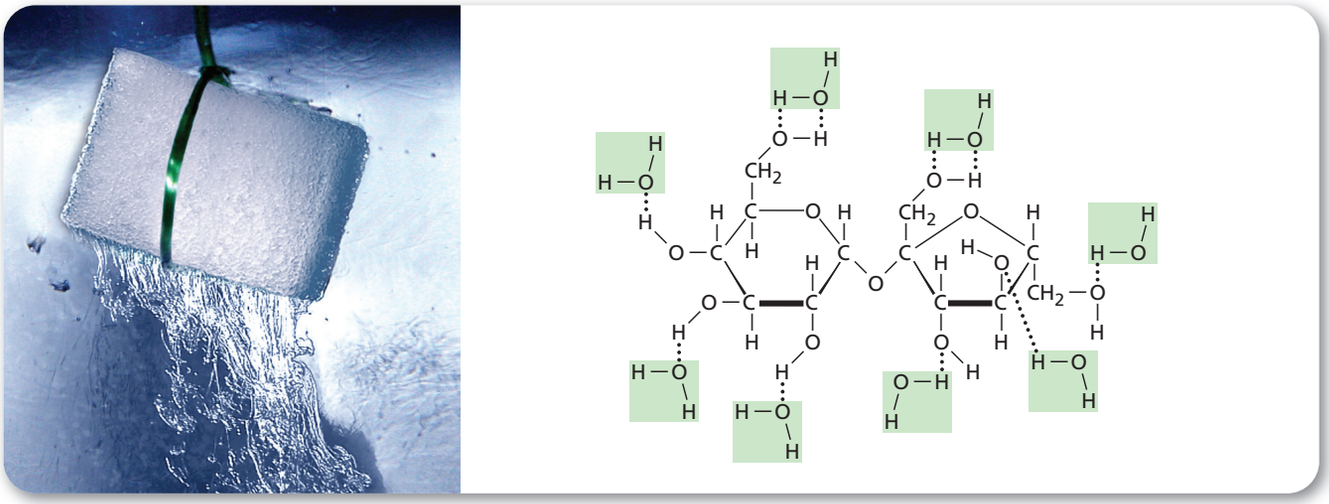
1910 — 1890 — 1870

1899م سجلت براءة اختراع جديدة لأحدث تقنية تستخدم في التقليل من حجم حبيبات الدهن الذائبة في الحليب؛ لمنع تكوّن طبقة زبد، في عملية تسمى التجانس.

1866م كان اختراع السلولويد –وهو محلول من الكافور والسليلوز– إشارة إلى بدايات صناعة البلاستيك.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



محاليل المركبات الجزيئية يعد الماء مذيبًا جيدًا للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكروز، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O – H، كما هو موضح في **الشكل 11–1**. وبمجرد ملامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل رابطة O – H في السكروز موقعًا لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكروز بقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئاته وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكروز البلورة، وتصبح ذائبة في الماء.

يتكون الزيت من الكربون والهيدروجين، ولا يكوّن محلولاً مع الماء؛ وذلك لأن قوى التجاذب التي تتكون بين جزيئات الماء القطبية وجزيئات الزيت غير القطبية ضعيفة. لذا يذوب الزيت في مذيب غير قطبي؛ لأن المذاب غير القطبي يذوب بسهولة أكبر في المذيب غير القطبي.

الشكل 11–1 يحتوي جزيء السكروز على 8 روابط O – H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع الروابط O – H في السكروز، وتسحب جزيئات السكروز نحو المحلول.



1964م اكتشفت ستيفاني كوالك أليافًا اصطناعية من بلورات سائلة في محلول. وهي أكثر صلابة من الفولاذ وأخف من الألياف الزجاجية.

2003م طوَّر العلماء عينات كيميائية تزيل الفلزات السامة، والمبيدات الحشرية، وتقتل مسببات الأمراض في مياه الشرب.

2010 — 1990 — 1970 — 1950

1980م تم تطوير نوع من ألواح الجبس لتشكّل عازلاً يفصل بين المنزل ومحيطه الخارجي.

1943م أول كلية اصطناعية تخلص الجسم من السموم الذائبة في دم المريض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

حرارة الذوبان تنفصل جسيمات المذاب بعضها عن بعض خلال عملية الذوبان، وتتباعد جسيمات المذيب لتسمح لجسيمات المذاب بالدخول بينها. ويلزم طاقة للتغلب على قوى التجاذب التي بين جسيمات المذاب والتي بين جسيمات المذيب، والتي تعرف طاقة الشبكة البلورية ويرمز لها بالرمز (طب) أو (U_o)، لذلك فكلتا الخطوتين ماصّة للطاقة. وعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب تتجاذب جسيماتها وتنطلق طاقة تعرف طاقة التميه ويرمز لها بالرمز (طه) أو (H_{hyd})، لذا فإن هذه الخطوة في عملية الذوبان طاردة للطاقة. ويسمى التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول **حرارة الذوبان**.

وكما لاحظت في التجربة الاستهلالية أن بعض المحاليل تُنتج طاقة في أثناء تكونها (طاردة للطاقة)، وبعضها الآخر يمتص طاقة في أثناء تكونه (ماصة للطاقة). فمثلاً بعد ذوبان نترات الأمونيوم في وعاء يحوي ماء يصبح الوعاء باردًا، أمّا بعد ذوبان كلوريد الكالسيوم في وعاء يحوي ماء فيصبح الوعاء ساخنًا.

ماذا قرأت؟ **فسّر** لماذا تنتج بعض المحاليل طاقة في أثناء تكونها بينما يمتص بعضها الآخر طاقة في أثناء تكونه؟

العوامل المؤثرة في الذوبان
Factors That Affect Solvation

يحدث الذوبان عند تصادم جسيمات المذاب والمذيب معًا. ويبين **الشكل 12-1** ثلاث طرائق شائعة لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب والمذيب وزيادة سرعة الذوبان، وهي: التحريك، وزيادة مساحة سطح المذاب، ورفع درجة حرارة المذيب.

التحريك يعمل تحريك المحلول على إبعاد جسيمات المذاب عن سطوح التماسّ بسرعة أكبر، وبذلك يسمح بحدوث تصادمات أخرى بين جسيمات المذاب والمذيب. ومن دون تحريك المحلول تتحرك الجسيمات الذائبة بعيداً عن مناطق التماس ببطء.

مساحة السطح إن تكسير المذاب إلى قطع صغيرة يزيد من مساحة سطحه. وتساعد الزيادة في مساحة السطح على زيادة عدد التصادمات التي تحدث بين جسيماته وجسيمات المذيب. لذا فإن ملعقة من السكر المطحون تذوب أسرع من الكمية نفسها التي تكون في صورة مكعبات.

الحرارة تتأثر سرعة الذوبان بدرجة الحرارة؛ فالمذيب الساخن يذيب كمية أكبر من المذاب مقارنة بالمذيب البارد. لذلك يستوعب الشاي الساخن سكرًا ذائبًا أكثر من الشاي المثلج، كما أن السكر يذوب فيه أسرع. ومع زيادة درجة الحرارة تسلك معظم المواد الصلبة سلوك السكر عند الذوبان. إلا أن ذوبان بعض المواد الأخرى، ومنها الغازات، يقل بزيادة درجة الحرارة، وهذا يجعل المشروبات الغازية تفقد طعمها اللاذع أسرع عند درجة حرارة الغرفة، مما لو كانت باردة.



مكعب من السكر

يذوب مكعب السكر في الشاي المثلج ببطء، وتزداد سرعة الذوبان عند تحريكه.



يذوب السكر المطحون بسرعة أكبر من مكعب السكر في الشاي المثلج، كما يزيد التحريك من سرعة ذوبان السكر المطحون.



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جدًّا في الشاي الساخن.

الشكل 12-1 يؤثر كل من التحريك، ومساحة السطح، ودرجة الحرارة في سرعة الذوبان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الذائبية Solubilitys

تعرّف الذائبية على أنها أقصى كمية من المذاب يمكن أن تذوب في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة معينة. وكما يمكن فهم الذوبان على مستوى الجسيمات، يمكن كذلك فهم الذائبية على مستوى الجسيمات. تعتمد ذائبية المذاب على طبيعة كل من المذاب والمذيب؛ فعند إضافة المذاب إلى المذيب تتصادم جسيمات المذيب مع جسيمات سطح المذاب، وتبدأ جسيمات المذاب الذائبة في الاختلاط خلال جسيمات المذيب عشوائيًّا. إلا أنه مع زيادة عدد جسيمات المذاب الذائبة يزداد عدد تصادماتها مع بقية البلورة، مما يجعل بعضها يلتصق بسطح البلورة، أو يتبلور مرة أخرى، كما هو موضح في **الشكل 13–1**. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

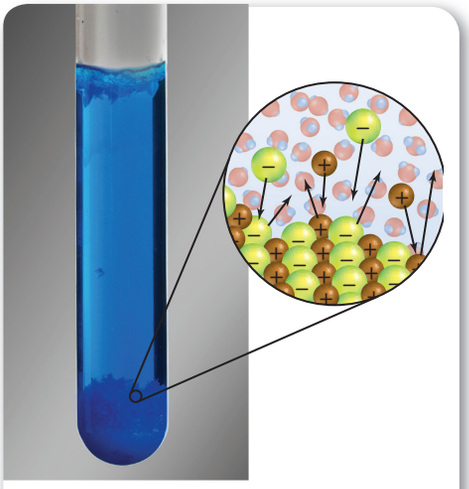
واعتمادًا على كمية المذاب، قد تتساوى سرعة الذوبان والتبلور في النهاية. وعند هذه النقطة لا يذوب المزيد من المذاب، ويصل المحلول إلى حالة من الاتزان الديناميكي بين التبلور والذوبان إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة.

المحلول غير المشبع يحتوي **المحلول غير المشبع** على كمية مذاب أقل مما في المحلول المشبع عند درجة حرارة وضغط معينين. أي أنه يمكن إضافة كميات أكبر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

المحلول المشبع رغم استمرار ذوبان جسيمات المذاب وتبلورها في المحلول الذي وصل إلى حالة الاتزان إلا أنّ كمية المذاب الذائبة في المحلول تبقى ثابتة. ويعرف مثل هذا المحلول الموضح في **الشكل 13–1** **بالمحلول المشبع**، وهو يحتوي على أكبر كمية من المذاب ذائبة في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة وضغط معينين.

درجة الحرارة والمحاليل فوق المشبعة تتأثر الذائبية بارتفاع درجة حرارة المذيب؛ حيث تزداد طاقة حركة جسيماته، فتزداد التصادمات ذات الطاقة الكبيرة مقارنة بالتصادمات عند درجة حرارة منخفضة. إن ذائبية الكثير من المواد أكبر عند درجات الحرارة المرتفعة، كما في **الشكل 14–1**. فذائبية كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ تساوي 64g لكل 100g من H_2O عند درجة حرارة 10 °C، وعند زيادة درجة الحرارة إلى 27 °C تزداد الذائبية بنسبة 50% تقريبًا: 100 g $CaCl_2$ لكل 100 g H_2O تقريبًا.

تقل ذائبية بعض المواد ـ ومنها كبريتات السيريوم ـ عند زيادة درجة الحرارة، ولكنها تبقى ثابتة بعد الوصول إلى درجة حرارة معينة.



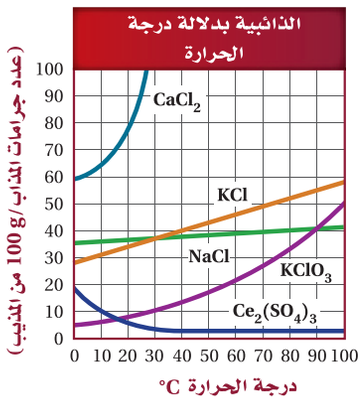
الشكل 13-1 تُساوي سرعة الذوبان في المحلول المشبع سرعة التبلور، لذلك لا تتغير كمية المذاب.

تجربة عملية

منحنى الذائبية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل 14-1 يبين الرسم البياني أدناه منحنى ذائبية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة .



اختبار الرسم البياني

حدد ذائبية NaCl عند درجة حرارة 80 °C .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول 4-1 الذائبية في الماء عند درجات حرارة مختلفة					
المادة	الصيغة الكيميائية	الذائبية ($g/100\ g\ H_2O$)*			
		0°C	20°C	60°C	100°C
كبريتات الألومنيوم	$Al_2(SO_4)_3$	31.2	36.4	59.2	89.0
هيدروكسيد الباريوم	$Ba(OH)_2$	1.67	3.89	20.94	--
هيدروكسيد الكالسيوم	$Ca(OH)_2$	0.189	0.173	0.121	0.076
كبريتات الليثيوم	Li_2SO_4	36.1	34.8	32.6	--
كلوريد البوتاسيوم	KCl	28.0	34.2	45.8	56.3
كلوريد الصوديوم	NaCl	35.7	35.9	37.1	39.2
نترات الفضة	$AgNO_3$	122	216	440	733
السكروز	$C_{12}H_{22}O_{11}$	179.2	203.9	287.3	487.2
الأمونيا*	NH_3	1130	680	200	--
ثاني أكسيد الكربون*	CO_2	1.713	0.878	0.359	--
الأكسجين*	O_2	0.048	0.031	0.019	--

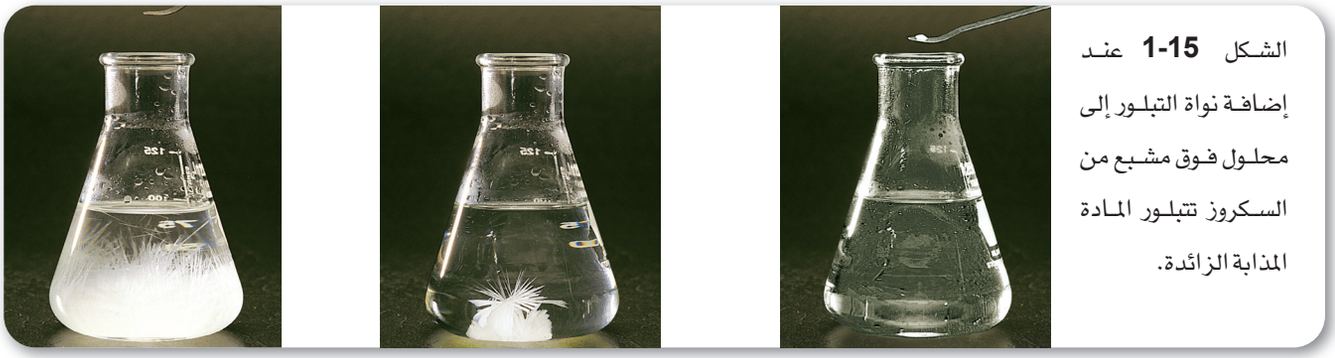
* H_2O 1 L /1 L في حالة الغاز عند الضغط الجوي القياسي 101 kPa.

يمكن توضيح تأثير درجة الحرارة في ذائبية المواد من خلال البيانات الموجودة في **الجدول 4-1**. تلاحظ أن 203.9 g من السكروز $C_{12}H_{22}O_{11}$ تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة 20 °C. بينما يذوب 487.2 g من السكروز في 100 g من الماء عند درجة حرارة 100 °C، وهذا يعني زيادة قابلية الذوبان 140% تقريبًا. وحقيقةُ أن الذائبية تتغير عند تغير درجة الحرارة وأن بعض المواد تصبح أكثر قابلية للذوبان عند زيادة درجة الحرارة، هي المفتاح الأساسي لتكوين المحاليل فوق المشبعة. يحتوي **المحلول فوق المشبع** على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها. ولعمل محلول فوق مشبع يتم تحضير محلول مشبع عند درجة حرارة عالية، ثم يبرد تدريجيًّا وببطء؛ إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة، كما هو موضح في **الشكل 15-1**.

المفردات

أصل الكلمة

Saturated والتي تعني مُشبعًا
مشتقة من الكلمة اللاتينية (Saturatus) وتعني يُشبع أو يملأ.



محلول فوق مشبع | عند اضافة نولة التبلور | بعد اضافة نواة التبلور

الشكل **1-15** عند إضافة نواة التبلور إلى محلول فوق مشبع من السكروز تتبلور المادة المذابة الزائدة.

نواة التبلور: هي عبارة عن قطعة أو مجموعة من القطع لبلورة أحادية لمادة ما، والتي يتكون عن طريقها بلورات أكبر من المادة نفسها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **16-1** الرواسب المعدنية في الينابيع الحارة مثل (عيون الليث في المملكة العربية السعودية) تعتبر مثال على تكون البلورات من المحاليل فوق المشبعة.

المحاليل فوق المشبعة غير ثابتة؛ فعند إضافة قطعة صغيرة جدًّا من مذاب ـ تسمى نواة التبلور ـ إلى محلول فوق مشبع تترسب المادة المذابة الزائدة بسرعة، كما هو موضح في **الشكل 15-1**.

ويمكن أن يحدث التبلور عند كشط (Scratch) الجزء الداخلي من الكأس الزجاجية أو الوعاء الزجاجي المحتوي على المحلول بساق تحريك زجاجية بلطف أو تعرُّض المحلول فوق المشبع للحركة أو الرجِّ.

وباستعمال يوديد الفضة AgI بوصفه نوى تكثّف في الهواء فوق المشبع ببخار الماء تتجمع جزيئات الماء في صورة قطيرات قد تسقط على الأرض على هيئة مطر. تسمى هذه الآلية استمطار الغيوم. كما يتكون سكر النبات Rock Candy والرواسب المعدنية على حواف الينابيع المعدنية ـ كالتي تظهر في **الشكل 16-1** ـ من محاليل فوق مشبعة.

ذائبية الغازات تقل ذائبية غازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون عند درجات الحرارة المرتفعة مقارنة بدرجات الحرارة المنخفضة. وهذا سلوك متوقع لجميع المواد الغازية المذابة في المذيبات السائلة. هل تستطيع تفسير هذا السلوك؟ تذكر أن الطاقة الحركية لجسيمات الغاز تسمح للجسيمات بالتحرر أو النفاد من المحلول بسهولة أكبر عند درجات الحرارة المرتفعة. ولذلك كلما زادت درجة حرارة المحلول قلت ذائبية المذاب الغازي.

الضغط وقانون هنري يؤثر الضغط في ذائبية المواد الغازية المذابة في المحاليل؛ فكلما ازداد الضغط فوق المحلول زادت ذائبية الغاز في أي مذيب. تعتمد المشروبات الغازية على هذا المبدأ؛ فهي تحتوي على غاز ثاني أكسيد الكربون المذاب في محلول مائي تحت ضغط أعلى من الضغط الجوي، وعند فتح علبة المشروب الغازي يكون ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون داخل العلبة أعلى من الضغط الواقع خارج العلبة. ونتيجة لذلك تتصاعد فقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول إلى السطح وتتطاير. وتستمر هذه العملية حتى يفقد المحلول غاز ثاني أكسيد الكربون كله تقريبًا، ويصبح المحلول بلا طعم. ويمكن وصف انخفاض ذائبية غاز ثاني أكسيد الكربون في المشروب الغازي بعد فتح العبوة بقانون هنري.

الكيمياء في واقع الحياة

الاستمطار في السعودية

تعد تجارب الاستمطار في المملكة العربية السعودية واحدة من تجارب عدة قامت في دول عربية مختلفة، حيث أجريت لأول مرة عام 1988م في منطقة عسير، بينما أجريت التجربة الثانية عام 2006م في ثلاث مناطق وسط المملكة (الرياض، والقصيم، وحائل).

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

الضغط Pressure

الاستعمال العلمي: القوة المبذولة على وحدة المساحة.

خلال تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول يزداد الضغط داخل القارورة المغلقة.

الاستعمال الشائع: الجهد الفيزيائي أو الإجهاد الذهني.

يقع على الطلاب الكثير من الضغط في أثناء الاختبارات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

ينص **قانون هنري** على أن " تتناسب ذائبية الغاز في سائل (S) تناسبًا طرديًا مع ضغط الغاز (P) الموجود فوق السائل عند ثبوت درجة الحرارة". فعندما تكون قارورة المشروب الغازي مغلقة، كما هو موضح في **الشكل 17–1**، يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون ذائبًا في المحلول. ويمكن تمثيل هذه العلاقة كما يلي:

قانون هنري

$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$

S يمثل الذائبية

P يمثل الضغط

يبقى ناتج قسمة الذائبية على الضغط ثابتًا عند درجة حرارة معينة.

غالبًا ما يستعمل قانون هنري لتحديد الذائبية S_2 عند ضغط جديد P_2، حيث P_2 معروف. ويمكن استعمال قواعد الجبر الأساسية لحل معادلة قانون هنري لإيجاد أي من المتغيرات. ولإيجاد S_2 ابدأ باستعمال قانون هنري الأساسي.

$$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$$

بالضرب التبادلي نحصل على المعادلة:

$$P_1S_2 = S_1P_2$$

وبقسمة الطرفين على P_1:

$$\frac{P_1S_2}{P_1} = \frac{S_1P_2}{P_1} \rightarrow S_2 = \frac{S_1P_2}{P_1}$$

الشكل **17-1** ثاني أكسيد الكربون CO_2 مذاب في الصودا، كما يوجد بعضه فوق السائل.

فسر لماذا يتصاعد غاز CO_2 من المحلول عند نزع الغطاء؟



يحافظ الضغط الذي فوق السائل في قارورة المشروب الغازي المغلقة على بقاء CO_2 الفائض ذائبًا في المحلول ويمنعه من التطاير.

يقل الضغط الذي فوق السائل عند فتح غطاء القارورة، لذا تقل ذائبية ثاني أكسيد الكربون.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 5-1

قانون هنري إذا ذاب 0.85 g من غاز ما عند ضغط مقداره 4.0 atm في 1.0 L من الماء عند درجة حرارة 25 °C، فكم يذوب منه في 1.0 L من الماء عند ضغط مقداره 1.0 atm ودرجة الحرارة نفسها؟

1 تحليل المسألة

أُعطيت ذائبية الغاز عند الضغط الابتدائي، وثبات درجة حرارة الغاز مع تغير الضغط.

ولأن تقليل الضغط يؤدي إلى تقليل ذائبية الغاز فإن كتلةً أقل من الغاز تذوب عند ضغط أقل.

المعطيات

$S_1 = 0.85\ g/L$

$P_1 = 4.0\ atm$

$P_2 = 1.0\ atm$

المطلوب

$S_2 = ?\ g/L$

2 حساب المطلوب

اكتب قانون هنري

$$\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$$

حل قانون هنري لإيجاد S_2

$$S_2 = S_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

عوض $P_2 = 1.0\ atm$, $P_1 = 4.0\ atm$, $S_1 = 0.85\ g/L$ ثم اضرب واقسم الأرقام والوحدات.

$$S_2 = \left(\frac{0.85\ g}{1.0\ L}\right)\left(\frac{1.0\ atm}{4.0\ atm}\right) = \mathbf{0.21\ g/L}$$

3 تقويم الإجابة

قلت الذائبية، كما هو متوقع؛ فقد قل الضغط فوق المحلول من 4.0 atm إلى 1.0 atm، لذا يجب أن تنخفض الذائبية إلى ربع قيمتها الأصلية. الوحدة g/L هي وحدة الذائبية.

مسائل تدريبية

36. إذا ذاب 0.55 g من غازٍ ما في 1.0 L من الماء عند ضغط 20.0 kPa، فما كمية الغاز نفسه التي تذوب عند ضغط 110 kPa؟

37. ذائبية غاز عند ضغط 10 atm هي 0.66 g/L. ما مقدار الضغط الواقع على محلول حجمه 1.0 L ويحتوي على 1.5 g من الغاز نفسه؟

38. تحفيز ذائبية غاز عند ضغط 7 atm تساوي 0.52 g/L. ما كتلة الغاز بالجرامات التي تذوب في لتر واحد إذا زاد الضغط إلى 10 atm؟

التقويم 1-3

الخلاصة

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب لجسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينصّ قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طرديًّا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

39. الفكرة الرئيسة **عدد** العوامل المؤثرة في الذوبان.

40. عرف الذائبية.

41. اشرح كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئات في الذوبان؟

42. قارن كيف تتشابه طريقة تحضير محلول مائي من ملح الطعام، ومحلول مائي من السكر؟

43. لخص ماذا يحدث إذا أُضيفت نواة تبلور إلى محلول فوق مشبع؟ وبم تصف المحلول الناتج؟

44. الرسوم البيانية استعمل المعلومات الموجودة في **الجدول 4-1** لعمل رسوم بيانية لذائبية كبريتات الألومنيوم، وكبريتات الليثيوم، وكلوريد البوتاسيوم عند درجات حرارة 0°C و20°C و60°C و100°C. أي المواد السابقة تتأثر ذائبيتها أكثر بزيادة درجة الحرارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–4

الخواص الجامعة للمحاليل

Colligative Properties of Solutions

الأهداف

- **تصف** الخواص الجامعة.
- **تعرّف** أربع خواص جامعة للمحاليل.
- **تحدد** الارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد للمحلول.

مراجعة المفردات

الأيون: ذرة مشحونة كهربائيًّا.

المفردات الجديدة

الخواص الجامعة

الانخفاض في الضغط البخاري

الارتفاع في درجة الغليان

الانخفاض في درجة التجمد

الخاصية الأسموزية

الضغط الأسموزي

الفكرة الرئيسة **تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.**

الربط مع الحياة إذا كنت قد عشت في منطقة ذات طقس بارد جدًّا في الشتاء فلعلك لاحظت أن الناس يرشُّون الملح على الأرصفة والطرق لإزالة الثلج والجليد. كيف يساعد الملح على جعل القيادة في الشتاء أكثر أمنًا؟

المواد المتأينة والخواص الجامعة
Electrolytes and Colligative Properties

تؤثر المواد المذابة في بعض الخواص الفيزيائية للمذيبات؛ فقد وجد الباحثون الأوائل أن تأثير المذاب في المذيب يعتمد فقط على كمية جسيمات المذاب في المحلول، لا على طبيعة المادة المذابة نفسها. وتسمى الخواص الفيزيائية للمحاليل التي تتأثر بعدد جسيمات المذاب وليس بطبيعتها **الخواص الجامعة**. وتشمل الخواص الجامعة الانخفاض في الضغط البخاري، والارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد، والضغط الأسموزي.

المواد المتأينة في محلول مائي درست سابقًا أنّ المركبات الأيونية مواد توصل محاليلُها التيارَ الكهربائي، لذا تسمى مواد إلكتروليتية؛ وذلك لأنها تتفكّك في الماء إلى أيونات، كما هو موضح في **الشكل 18–1**. كما تتأين القليل من المركبات الجزيئية في الماء وتكون أيضاً محلولاً متأيناً. وتسمى المواد المتأينة التي تنتج أيونات كثيرة في المحلول مواد متأينة قوية. أما التي تنتج عددًا قليلاً من الأيونات في المحلول فتسمى المواد المتأينة الضعيفة.

الشكل **18-1** محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول لمادة متأينة، في حين لا يوصل محلول السكروز التيار الكهربائي؛ لأنه محلول لمادة غير متأينة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

وكلوريد الصوديوم مـادة متأينة قوية؛ حيث يتفكّك في المحلول وينتج أيونات Na^+ و Cl^-.

$$NaCl_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

فإذابة 1 mol من كلوريد الصـوديوم في 1 kg من المـاء لا تنتـج محلـولاً تـركيـز أيوناته 1 m، بل تنتـج 2 mol من جسيمات المـذاب في المحـلول، أي 1 mol لكل من أيونَيْ Na^+ و Cl^-.

المواد غير المتأينة في المحلول المائي تذوب الكثير من المركبات الجزيئية في المذيبات، ولكنها لا تتأين. ومثل هذه المحاليل لا توصل التيار الكهربائي، كما هو موضـح في **الشكل 18-1**. وتسـمى المواد المذابة مواد غير متأينة. والسكروز مثال على المواد غير المتأينة؛ حيث يحتوي محلول السكروز الذي تركيزه 1 m على 1 mol فقط من جزيئات السكروز.

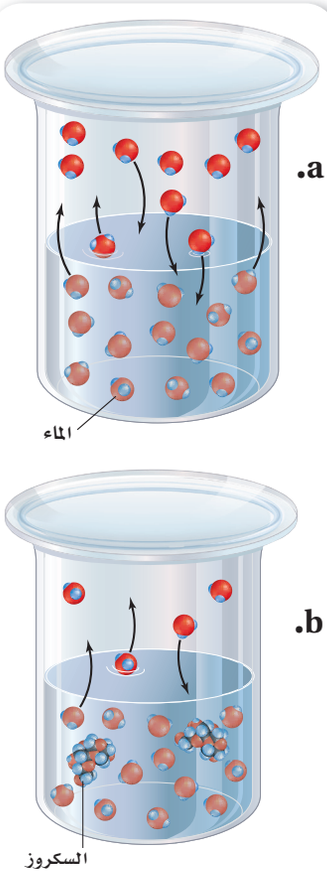
مـاذا قـرأت؟ اسـتنتج أي المركبين لـه تأثير أكبر في الخـواص الجامعة: كلوريد الصوديوم أم السكروز؟

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

الضغط البخاري هو الضغط الناتج عن بخار السائل عندما يكون في حالة اتزان ديناميكي مع سـائله في وعاء مغلق عند درجـة حرارة وضغط ثابتين، وعند هذه النقطة تتسـاوي سرعتي التبخر والتكاثف.

تظهـر التجارب أن إضافة مذاب غير متطاير – له ميل قليل إلى التحول إلى غاز– إلى مذيب يقلل الضغط البخاري للمذيب. كما أن الجسـيمات التي تحدث الضغط البخاري تتبخر من سـطح السائل. فعندما يكون المذيب نقيًّا كما في **الشـكل a 19-1** تشغل جسيماته مساحة السطح كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مـذاب، كما في **الشكل b 19-1**، فإن خليـط جسـيمات المـذاب والمذيب يحـتل مساحة سطـح المحلول. وبسبب وجـود كميـة قـليلة من جـسيمات المـذيب على السطح يتحول القليل منها إلى الحالة الغازية، ومن ثم ينخفض الضغـط البخاري. وكلما ازداد عدد جسـيمات المذاب في المذيب قـل الضغط البخاري الناتج، لـذا فإن **الانخفاض في الضغـط البخاري** يعتمد على عدد جسـيمات المذاب في المحلول، ولذلك فهو من الخواص الجامعة للمحاليل.

تستطيع توقع التأثير النسـبي للمذاب في الضغط البخاري اعتمادًا على كون المذاب متأينًا أو غير متأين. فمثلاً يكون التأثير النسـبي لـ 1 mol من كل من المواد المذابة غير المتأينة ـ ومنها الجلوكوز والسكروز والإيثانول ـ هو نفسه في الضغط البخاري، إلا أن تأثير 1 mol من كل من المواد المذابة المتأينة ـ ومنهـا كلوريد الصوديوم NaCl، وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4، وكلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ ـ يزداد في الضغط البخاري؛ بسـبب تزايد أعداد الأيونات التي ينتجها كل منها في محلولها.



الشكل **19-1** الضغط البخاري لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري لمحلول يحتوي على مـذاب غير متطاير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation

يؤثر المذاب غير المتطاير في درجة غليان المذيب لأنه يقلل الضغط البخاري له. تذكر أن السائل يغلي عندما يعادل ضغطه البخاري الضغط الجوي. وعندما ترتفع درجة حرارة المحلول المحتوي على مذاب غير متطاير إلى درجة غليان المذيب النقي فإن ضغط البخار الناتج يبقى أقل من الضغط الجوي، لذا لا يغلي المحلول. ولذلك يجب تسخين المحلول إلى درجة حرارة أعلى لتزويده بالطاقة الحركية الإضافية اللازمة لرفع الضغط البخاري له إلى ما يعادل الضغط الجوي. ويسمى الفرق بين درجة حرارة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي **الارتفاع في درجة الغليان**. وفي المواد غير المتأينة تتناسب قيمة ارتفاع درجة الغليان – التي يرمز إليها بالرمز ΔT_b – تناسبًا طرديًّا مع مولالية المحلول.

الارتفاع في درجة الغليان

ΔT_b **ارتفاع درجة الغليان**
K_b **ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي**
m **مولالية المحلول**

$$\Delta T_b = K_b m$$

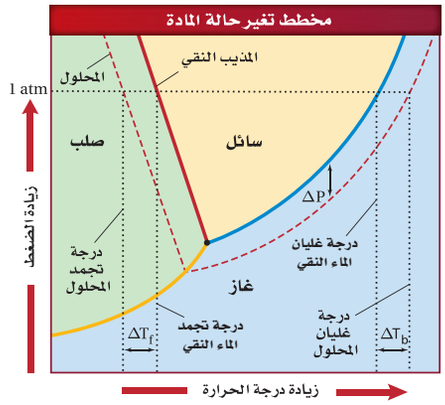
كما أن ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالي K_b هو الفرق بين درجة غليان محلول يحتوي على $1\ m$ من مذاب غير متطاير وغير متأين ودرجة غليان المذيب النقي. والوحدة المستعملة للتعبير عن ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولاري هي $^\circ C / m$، وتختلف قيمة الثابت K_b باختلاف المذيب. يبين **الجدول 5–1** قيم K_b لعدد من المذيبات الشائعة. لاحظ أن قيمة K_b للماء هي $0.512\ ^\circ C/m$؛ وهذا يعني أن $1\ m$ من محلول مائي يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين يغلي عند درجة حرارة $100.512\ ^\circ C$، وهذه الدرجة تزيد $0.512\ ^\circ C$ على درجة غليان الماء النقي $100.0\ ^\circ C$.

وكما أنّ الانخفاض في الضغط البخاري خاصية جامعة فإن الارتفاع في درجة الغليان خاصية جامعة أيضًا. وتتناسب قيمة الارتفاع في درجة الغليان تناسبًا طرديًّا مع مولالية المذاب في المحلول، أي أنه كلما زاد عدد جسيمات المذاب في المحلول زاد الارتفاع في درجة الغليان. ولأن المولالية مرتبطة مع الكسر المولي الذي يتضمن عدد جسيمات المذاب، لذا فهي تستعمل للدلالة على التركيز. ويعبّر عن المذيب في المولالية بالكتلة بدلاً من الحجم. ولذلك لا تتأثر المولالية بتغير درجة الحرارة.

الجدول 5-1 **ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي K_b**

المذيب	درجة الغليان $^\circ C$	$K_b\ ^\circ C/m$
الماء	100.0	0.512
البنزين	80.1	2.53
رابع كلوريد الكربون	76.7	5.03
الإيثانول	78.5	1.22
الكلوروفورم	61.7	3.63

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **1-20** يؤثر الضغط والحرارة في حالة المذيب النقي (الخط المتصل)، الصلبة أو السائلة أو الغازية، ويؤثران أيضًا في المحلول (الخط المتقطع).

اختبار الرسم البياني

صف كيف يمثل الفرق بين الخطين (المتصل والمتقطع) الانخفاض في الضغط البخاري، والارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد؟ استعمل بيانات من الرسم البياني لدعم إجابتك.

انظر إلى **الشكل 20–1** ولاحظ أن المنحنى الذي يمثل المحلول يقع أسفل المنحنى الذي يمثل المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

الانخفاض في درجة التجمد
Freezing Point Depression

تترتب الجسيمات في بنية أكثر تنظيمًا في الحالة الصلبة؛ أما في المحلول فتعمل جسيمات المذاب على إضعاف قوى التجاذب بين جسيمات المذيب، مما يمنع المذيب من الوصول إلى الحالة الصلبة عند درجة التجمد.

وتكون درجة تجمد المحلول دائمًا أقل من درجة تجمد المذيب النقي. ويبين **الشكل 20–1** الفرق بين درجات الغليان والتجمد للماء النقي والمحلول المائي. وعند مقارنة الخطوط المتصلة مع المتقطعة في الرسم سوف تلاحظ أن نطاق درجة الحرارة للمحلول المائي في الحالة السائلة أكبر ممّا للماء النقي. ويبين **الشكل 21–1** تطبيقين شائعين لاستعمال الملح لتقليل درجة تجمد المحلول المائي.

الانخفاض في درجة تجمد المحلول ΔT_f هو درجة تجمد المذيب النقي مطروحًا منها درجة تجمد المحلول.

الكيمياء في واقع الحياة

الانخفاض في درجة التجمد



الأسماك التي تعيش في المياه المالحة إن المحافظة على التركيز الملحي المناسب في غاية الأهمية للأسماك التي تعيش في المياه المالحة؛ فوجود الملح في المناطق القطبية من المحيط ضروري للمحافظة على المياه من التجمُّد، مما يسمح بالمحافظة على الحياة البحرية.





الشكل **1-21** تعمل إضافة الأملاح إلى الجليد على تقليل درجة تجمُّد الجليد، مما يؤدّي إلى انصهار الجليد على الطرق. وتعمل إضافة الملح إلى الجليد عند صنع الآيس كريم على تقليل درجة التجمد، مما يسمح للماء الناتج بتجميد الآيس كريم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول 6-1 ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي K_f		
المذيب	درجة التجمد °C	K_f (°C/m)
الماء	0.0	1.86
البنزين	5.5	5.12
رابع كلوريد الكربون	−23.0	29.8
الإيثانول	−114.1	1.99
الكلوروفورم	−63.5	4.68

يبين **الجدول 6-1** ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي (K_f) لكثير من المذيبات. هذا وتتناسب قيم الانخفاض في درجة التجمد للمواد غير المتأينة تناسبًا طرديًّا مع مولالية المحلول.

الانخفاض في درجة التجمد

ΔT_f درجة الحرارة

K_f ثابت الانخفاض في درجة التجمد

m المولالية

$$\Delta T_f = K_f m$$

وكما هو الحال مع قيم K_b فإن قيم K_f تعتمد على طبيعة المذيب. ولأن ثابت انخفاض درجة التجمد للماء (K_f) يساوي $1.86°C/m$ فإن المحلول المائي الذي تركيزه $1\ m$ يتجمد، ويحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين عند درجة $-1.86\ °C$ وهي أقل من درجة تجمد الماء النقي ($0.0\ °C$). ويعد الجليسرول مذاب غير متأين، وينتجه الكثير من الأسماك والحشرات لحماية دمائها من التجمد في الشتاء القارص. كذلك فإن مقاوم التجمد أو مانع تكوين الجليد يحتوي على مذاب غير متأين، هو جليكول الإثيلين.

لاحظ أن معادلات الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد تحدد مولالية المواد غير المتأينة. أما في حالات المواد المتأينة فيجب استعمال المولالية الفعلية للمحلول والتي تأخذ بعين الاعتبار عدد جسيمات المذاب المتفككة، كما يوضحها **المثال 6-1**.

تجربة عملية

الانخفاض في درجة التجمد

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

تجربة

الانخفاض في درجة التجمد

كيف يمكنك قياس الانخفاض في درجة التجمد؟

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. املأ كأسين سعة كل منهما 400 mL بالجليد المجروش، وأضف 50 mL من مياه الصنبور البارد إلى كل من الكأسين.
3. قس درجة حرارة كل من الكأسين بمقياس حرارة (ثرمومتر) غير زئبقي.
4. حرك محتويات كل كأس بساق مدة دقيقة واحدة، حتى تصبح درجتا حرارة الكأسين متماثلتين، وسجل درجة الحرارة.
5. أضف 75 g من ملح الطعام الخشن NaCl إلى إحدى الكأسين، وتابع التحريك في الكأسين، سوف يذوب بعض الملح.
6. عندما تثبت درجة الحرارة في كل كأس سجل كلًّا منهما.
7. اسكب محتويات الكأسين في المغسلة، واشطفها بكمية من ماء الصنبور.

التحليل

1. قارن درجة حرارة الماء والثلج بدرجة حرارة الماء والثلج المضاف إليهما الملح. بم تفسر تغير درجة الحرارة؟
2. فسر لماذا أضيف الملح إلى إحدى الكأسين دون الأخرى؟
3. فسر الملح مادة متأينة قوية تنتج أيوني الصوديوم Na^+ والكلور Cl^- عندما تتفكّك في الماء. فسر لماذا يعد هذا التفكك مهمًّا عند حساب الانخفاض في درجة التجمد؟
4. توقع هل من الأفضل استعمال الملح الخشن، أم ملح المائدة الناعم، عند صنع الآيس كريم المنزلي؟ فسّر إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 6-1

التغيرات في درجات التجمد والغليان يستعمل كلوريد الصوديوم NaCl عادة لمنع تكون الجليد على الطرق وتجميد المثلجات (الآيس كريم). ما درجتا غليان وتجمد محلول مائي من كلوريد الصوديوم تركيزه $0.029\ m$، إذا علمت أن كلوريد الصوديوم مادة متأينة قوية؟

1 تحليل المسألة

أُعطيت مولالية المحلول المائي لكلوريد الصوديوم. احسب ΔT_b و ΔT_f اعتمادًا على عدد الجسيمات في المحلول، ثم حدد الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد. أضف ΔT_b إلى درجة الغليان، واطرح ΔT_f من درجة التجمد.

المعطيات

المذاب= كلوريد الصوديوم NaCl

المولالية = $0.029\ m$

المطلوب

درجة الغليان= ؟ °C

درجة التجمد= ؟ °C

2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات الفعلية

$$m = 0.029\ m$$

مولالية الجسيمات الفعلية = المولالية x عدد جسيمات المذاب المتفككة

$$m \times 2 = 0.058\ m$$

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_b = K_b\ m$$

$$\Delta T_f = K_f\ m$$

عوض عن $K_b = 0.512°C/m$ ، $K_f = 1.86°C/m$ و $m = 0.058\ m$

$$\Delta T_b = (0.512°C/\cancel{m})(0.058\ \cancel{m}) = 0.030°C$$

$$\Delta T_f = (1.86°C/\cancel{m})(0.058\ \cancel{m}) = 0.11°C$$

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

أضف ΔT_b إلى درجة الغليان

$$T_b = 0.030°C + 100.000°C = 100.030°C$$

واطرح ΔT_f من درجة التجمد

$$T_f = 0.00°C - 0.11°C = -0.11°C$$

3 تقويم الإجابة

تكون درجة الغليان أعلى، ودرجة التجمد أقل، كما هو متوقع.

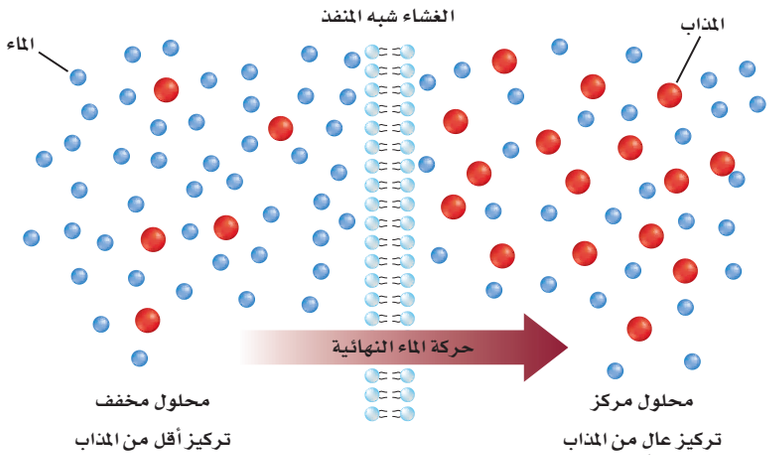
مسائل تدريبية

45. احسب درجة الغليان ودرجة التجمد لمحلول مائي تركيزه $0.625\ m$ من أي مذاب غير متطاير وغير متأين.

46. ما درجة غليان محلول السكروز في الإيثانول الذي تركيزه $0.40\ m$؟ وما درجة تجمده؟ علماً بأن السكروز مادة غير متأينة؟

47. تحفيز تم اختبار محلول تركيزه $0.045\ m$ يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين، ووجد أن الانخفاض في درجة تجمده بلغ $0.084\ °C$. ما قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمده K_f؟ وهل المذيب المكوَّن منه المحلول في هذه الحالة هو الماء أو الإيثانول أو الكلوروفورم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **22-1** تنتشر المذيبات بسبب الخاصية الأسموزية من التركيز الاقل إلى التركيز الأعلى خلال أغشية شبه منفذة.

الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

عرفت أنّ الانتشار هو اختلاط الغازات أو السوائل، والناتج عن حركتها العشوائية. أما **الخاصية الأسموزية** فهي انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ من المحلول الأقل تركيزًا إلى المحلول الأعلى تركيزًا. والأغشية شبه المنفذة حواجز تسمح لبعض الجسيمات بالعبور. والأغشية التي تحيط بالخلايا الحية جميعها عبارة عن أغشية شبه منفذة. وتلعب الخاصية الأسموزية دورًا مهمًّا في الكثير من العمليات الحيوية، ومنها امتصاص الغذاء في النباتات.

يبين **الشكل 22–1** نظامًا يكون فيه المحلول المخفف مفصولاً عن المحلول المركز بغشاء شبه منفذ. تتحرك جزيئات الماء خلال العملية الأسموزية في الاتجاهين عبر الغشاء، ولكن جزيئات المذاب لا تستطيع العبور. وتنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز. وتسمى كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركّز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

التقويم 1-4

الخلاصة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
- يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

48. الفكرة الرئيسة **اشرح** ما المقصود بالخواص الجامعة؟

49. **صف** الخواص الجامعة الأربع للمحاليل.

50. **فسر** لماذا يكون للمحلول درجة غليان أعلى من درجة غليان المذيب النقي؟

51. **حلّ** يغلي محلول مائي من كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ عند درجة حرارة 101.3 °C. ما كتلة كلوريد الكالسيوم بالكيلوجرام التي تذوب في 1000 g من المذيب؟

52. ثم احسب الانخفاض في درجة التجمد للمحلول نفسه؟ إذا علمت أن الجلوكوز مادة غير متأينة؟

53. **تحقق** إذا علمت أنّ الأرتفاع في درجة غليان محلول مائي لمذاب غير متأين وغير متطاير تساوي 1.12 °C، فما مولالية المحلول؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

في الميدان

مهن: كيميائي البيئة

محلول CO_2

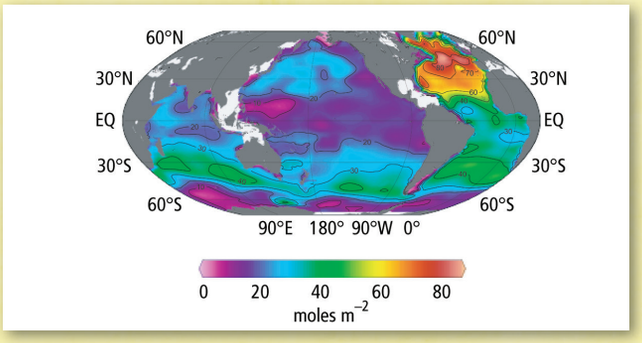
تشير السجلات الجيولوجية إلى أن مستويات ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي أعلى كثيرًا في الوقت الحاضر مقارنة بعشرين مليون سنة مضت. وقد أسهمت صناعات الإنسان في هذه الزيادة. إلا أن CO_2 لا يبقى في الغلاف الجوي إلى أجل غير مسمى؛ إذ تحتوي المحيطات بشكل طبيعي على CO_2 الذي يأتي من الغلاف الجوي، ومن المخلوقات الحية. وتقوم المحيطات بامتصاص 50% من CO_2 المنبعث من صناعات الإنسان. ويعتقد بعض العلماء أنه خلال ألف سنة قادمة سيذوب 90% منه في المحيطات.

جمع البيانات عن CO_2 Collecting CO_2 data

تتأثر سرعة ذوبان CO_2 في المحيطات بعدة عوامل، منها درجة الحرارة، وتركيز CO_2 في الهواء والماء، واختلاط الماء مع الهواء بسبب الرياح، وحركة الأمواج. لقد قضى فريق من الباحثين عدة سنوات لجمع وتحليل البيانات حول CO_2، وذلك من آلاف نقاط الجمع في المحيطات حول العالم. وتوضح بيانات **الشكل 1** أن شمال المحيط الأطلسي يحتوي على أكبر كمية من CO_2 لكل متر مربع من سطح المحيط؛ لأن عوامل درجة الحرارة والعمق والتيارات البحرية تجعل من شمال المحيط الأطلسي ماصًّا فعّالاً لغاز CO_2 المنبعث من صناعات الإنسان.

جمع وتخزين CO_2 CO_2 capture and storage

هناك طريقة واحدة لتقليل كمية CO_2 المنطلقة إلى الغلاف الجوي، وهي جمع وتخزين CO_2 الناتج عن حرق الوقود الأحفوري. يقوم العلماء بالبحث عن احتمالية حقن CO_2 الذي تم جمعه مباشرة في المحيط؛ وذلك لتسريع عملية ذوبانه؛ حيث تقلل هذه العملية من أثر الاحتباس الحراري الذي يسببها غاز CO_2. ومع ذلك فقد يؤدي اختلال التوازن الطبيعي لثاني أكسيد الكربون CO_2 الذائب إلى آثار بالغة في كيميائية المياه، مما قد يلحق ضررًا، أو يقتل المخلوقات البحرية. فعلى سبيل المثال أظهرت الشعب المرجانية المنتشرة في مختلف أنحاء العالم دلائل إجهاد؛ نتيجة زيادة مستوى CO_2 الذائب في الماء.



شكل 1 ترمز الألوان الحمراء والصفراء والخضراء إلى المناطق التي فيها مستويات عالية من CO_2 الذائب في الماء.

الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

هناك اقتراح قد يقلل من كمية CO_2 الجوي، ويحمي الحياة في الجزء العلوي من المحيط، وهو تسييل غاز CO_2، ثم ضخه إلى طبقات المياه السفلى، وتسمى هذه العملية الحجز في أعماق البحار. وهناك تصور أن الضغط الشديد في الأعماق (أكبر من 3000 m) من شأنه أن يحول CO_2 إلى هيدرات تذوب في أعماق مياه المحيطات، ولكن سيبقى CO_2 عالقًا مئات السنين بعيدًا عن الجزء العلوي للمحيط والغلاف الجوي.

بحوث مستمرة Ongoing research

يعمل العلماء على إيجاد إجابات عن كثير من الأسئلة حول أثر CO_2 في المخلوقات التي تعيش في الأعماق. ولا يزال هناك الكثير من المشاكل التقنية المتعلقة بعملية جمع CO_2 وتخزينه ونقل كميات كبيرة منه. وإذا تم حل هذه المشكلات التقنية فإن على الرأي العام والمسؤولين الأخذ في الحسبان الأخطار المتعلقة بانبعاث CO_2 في الهواء وفي المحيطات.

الكتابة في الكيمياء

عصف ذهني إعداد مجموعة من الأسئلة للإجابة عنها بالبحث حول حجز ثاني أكسيد الكربون في أعماق البحار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر الكيمياء

استقصاء العوامل المؤثرة في الذائبية

الخلفية تتضمن عملية تحضير محلول تصادم جسيمات المذيب والمذاب. فعند إضافة مركب قابل للذوبان إلى الماء تؤثر عدة عوامل في سرعة تكوين المحلول.

سؤال كيف تؤثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول؟

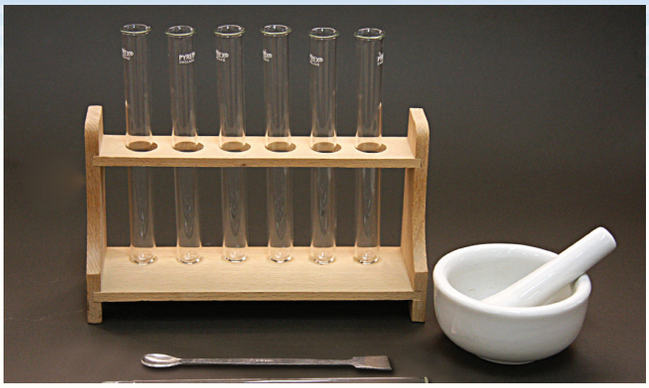
المواد والأدوات اللازمة

كبريتات النحاس II المائية
ماء مقطر
6 أنابيب اختبار
مخبار مدرج سعته 25 mL
ساق تحريك زجاجية
ماسك أنابيب
حامل أنابيب اختبار
هاون (مدق)
ملعقة
ساعة

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. صمم جدولاً لتسجيل البيانات.
3. اكتب فرضية حول ما تعرفه عن سرعة التفاعل لتفسير ما يمكن ملاحظته في خطوات العمل.
4. ضع الأنابيب الستة على حامل الأنابيب.
5. ضع بلورة من كبريتات النحاس II المائية في كل من الأنبوب الأول والأنبوب الثاني.
6. استعمل الهاون والمدق لطحن بلورة أخرى، ثم اكشط المسحوق الناتج بالملعقة، وضعه في الأنبوب الثالث، وكرر ذلك للأنابيب المتبقية.
7. قس 15 mL من الماء المقطر عند درجة حرارة الغرفة، ثم اسكبه في أنبوبي الاختبار الأول والثاني، ثم سجل الزمن.
8. لاحظ المحلول في الأنبوب الأول بعد إضافة الماء مباشرة وبعد 15 دقيقة.
9. اترك الأنبوب الأول دون أي حركة على حامل الأنابيب.
10. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوبين الثالث والرابع.
11. استعمل ساق التحريك الزجاجية لتحريك أنبوب الاختبار الثاني مدة دقيقة أو اثنتين.
12. اترك الأنبوب الثالث دون تحريك.



13. حرك المحلول الرابع بالساق الزجاجي مدة دقيقة أو اثنتين .
14. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوب الخامس باستعمال ماء أكثر برودة، واترك الأنبوب بلا تحريك.
15. كرر الخطوتين 7 و8 مع الأنبوب السادس باستعمال ماء ساخن، واترك الأنبوب بلا تحريك.
16. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من بقايا المواد الصلبة والمحاليل باتباع إرشادات معلمك. ونظف أدوات المختبر جميعها، وأعدها إلى أماكنها.

التحليل والاستنتاج

1. **المقارنة** ما التأثير الذي لاحظته عند تحريك الأنبوب الثاني والرابع مقارنة بالأنبوب الأول والثالث؟
2. **الملاحظة والاستنتاج** ما العامل الذي أدى إلى تكوين المحلول بسرعة في الأنبوب الرابع مقارنة بالأنبوب الثاني؟
3. **إدراك النتيجة والسبب** لماذا اختلفت النتائج بين الأنابيب الثالث والرابع والسادس؟
4. **ناقش** ما إذا كانت بياناتك قد دعمت فرضيتك.
5. **تحليل الخطأ** اعرف مصدر الخطأ الرئيس المحتمل في التجربة، واقترح طريقة سهلة لتصحيحه.

الاستقصاء

التفكير الناقد إذا أمكن رؤية نتائج هذه التجربة بالعين المجردة، فاقترح تفسيرًا تحت مجهري (لا يمكن ملاحظته) لأثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول. ماذا يحدث على مستوى الجزيئات لتسريع تكوين المحلول في كل حالة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 1 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة معظم السوائل والغازات والمواد الصلبة التي تكوِّن عالمنا مخاليط .

1-1 أنواع المخاليط

الفكرة الرئيسة المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة.

المفردات

- المخلوط المعلق
- تأثير تندال
- المخلوط الغروي
- المادة الذائبة
- الحركة البراونية
- المادة غير الذائبة

الأفكار الرئيسة

- يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس.
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي.
- تُظهر المخاليط الغروية والمعلقة تأثير تندال.
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتمادًا على الحالة الفيزيائية للمذيب.
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازًا أو سائلاً أو صلبًا.

1-2 تركيز المحلول

الفكرة الرئيسة يمكن التعبير عن التركيز بدلالة النسبة المئوية أو المولات.

المفردات

- التركيز
- المولالية
- المولارية
- الكسر المولي

الأفكار الرئيسة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.
- المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1 kg من المذيب.
- عدد المولات قبل التخفيف = عدد المولات بعد التخفيف $M_1V_1 = M_2V_2$

1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

الفكرة الرئيسة يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها الحرارة والضغط والقطبية.

المفردات

- الذوبان
- المحلول المشبع
- حرارة الذوبان
- المحلول فوق المشبع
- المحلول غير المشبع
- قانون هنري

الأفكار الرئيسة

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب لجسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينصّ قانون هنري على أن ذائبية الغاز في سائل تتناسب طرديًّا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

الفكرة الرئيسة تعتمد الخواص الجامعة على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

المفردات

- الخواص الجامعة
- الخاصية الأسموزية
- الانخفاض في الضغط البخاري
- الارتفاع في درجة الغليان
- الضغط الأسموزي
- الانخفاض في درجة التجمد

الأفكار الرئيسة

- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان مباشرة بمولالية المحلول.
- يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

1-1

إتقان المفاهيم

54. وضح المقصود بالعبارة "ليست كل المخاليط محاليل".

55. ما الفرق بين المذاب والمذيب؟

56. ما المخلوط المعلق؟ وفيم يختلف عن المخلوط الغروي؟

57. كيف يستخدم تأثير تندال للتمييز بين المخلوط الغروي والمحلول؟ لماذا؟

58. سمِّ مخلوطًا غرويًّا مكونًا من غاز مذاب في سائل؟

59. تتبيلة السلطة ما نوع الخليط غير المتجانس الموضح في **الشكل 23–1**؟ وما الخصائص التي اعتمدت عليها في تصنيفك؟



الشكل 23–1

60. ما الذي يسبب الحركة البراونية في المخلوط الغروي؟

1–2

إتقان المفاهيم

61. ما الفرق بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم؟

62. ما الفرق بين المولارية والمولالية؟

63. ما العوامل التي يجب أخذها في الحسبان عند إعداد محلول مخفف من محلول قياسي؟

64. كيف يختلف محلولان من NaCl تركيز أحدهما 0.5 M والآخر 2.0 M؟

65. تحت أي ظروف يمكن للكيميائي وصف المحلول بدلالة المولالية؟ ولماذا؟

إتقان حل المسائل

66. وفق خطوات العمل في تجربة مختبرية، قمت بخلط 25.0 g من $MgCl_2$ مع 550 mL من الماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الماغنسيوم $MgCl_2$ في المحلول؟

67. ما كمية LiCl بالجرامات الموجودة في 275 g من محلوله المائي الذي تركيزه 15%؟

68. إذا كنت ترغب في تحضير كمية كبيرة من محلول HCl بتركيز 5%، ولديك 25 mL من HCl فقط، فما أقصى حجم محلول 5% يمكنك تحضيره؟

69. احسب النسبة المئوية بالحجم لمحلول يحضَّر بإضافة 75 mL من حمض الإيثانويك إلى 725 mL من الماء.

70. احسب مولارية محلول يحتوي على 15.7 g من $CaCO_3$ الذائب في 275 mL من الماء.

71. ما حجم محلول تركيزه 3.00 M تم تحضيره بإذابة 122 g LiF؟

72. ما عدد مولات BaS اللازمة لتحضير محلول حجمه 1.5×10^3 mL وتركيزه 10 M؟

73. ما كتلة $CaCl_2$ بالجرامات اللازمة لتحضير محلول حجمه 2.0 L وتركيزه 3.5 M؟

74. غالبًا ما تحضر محاليل قياسية مختلفة التراكيز من HCl لتنفيذ التجارب. أكمل **الجدول 7–1** بحساب حجم المحلول المركز أو المحلول الذي تركيزه 12 M من حمض الهيدروكلوريك اللازم لتحضير 1.0 L من محلول HCl باستعمال قيم المولارية المدونة في الجدول.

جدول 7–1 محاليل HCl

مولارية HCl	حجم محلول HCl 12 M القياسي بوحدة mL
0.50	
1.0	
1.5	
2.0	
5.0	

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 1

75. كم تحتاج من حمض النيتريك (mL) الذي تركيزه 5.0 M لتحضير HNO_3 225 mL تركيزه 1.0 M؟

76. تجربة إذا قمت بتخفيف 55 mL من محلول تركيزه 4.0 M لتحضير محلول مخفف حجمه 250 mL، فاحسب مولارية المحلول الجديد.

77. ما حجم حمض الفوسفوريك (بوحدة mL) الذي تركيزه 3.0 M ، والذي يمكن تحضيره من 95 mL من محلول H_3PO_4 5.0 M؟

78. إذا خففت 20.0 mL من محلول تركيزه 3.5 M لتحضير محلول حجمه 100.0 mL، فما مولارية المحلول بعد التخفيف؟

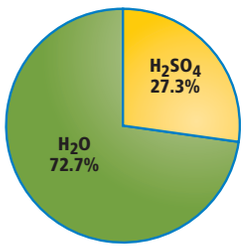
79. ما مولالية محلول يحتوي على 75.3 g من KCl مذابة في 95.0 g من الماء؟

80. ما كتلة Na_2CO_3 (بوحدة g) التي يجب إذابتها في 155 g من الماء لعمل محلول تركيزه 8.20 mol /kg؟

81. ما مولالية محلول يحتوي على 30.0 g من النفثالين $C_{10}H_8$ الذائب في 500 g من التولوين؟

82. ما المولالية والكسر المولي لمذاب يحتوي على 35.5% بالكتلة من محلول حمض الميثانويك HCOOH؟

83. استعن **بالشكل 1–24**، واحسب الكسر المولي لحمض الكبريتيك H_2SO_4 في المحلول .



الشكل 1–24

84. احسب الكسر المولي لمحلول $MgCl_2$ الناتج عن إذابة 132.1 g $MgCl_2$ في 175 mL من الماء؟

1-3

إتقان المفاهيم

85. صف عملية الذوبان.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

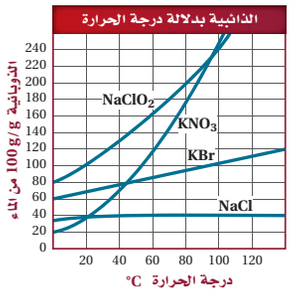
إتقان حل المسائل

88. إذا كانت ذائبية غاز تساوي 0.54 g /L عند ضغط مقداره 1.5 atm فاحسب ذائبية الغاز عند مضاعفة الضغط.

89. ذائبية غاز تساوي 9.5 g /L عند ضغط 4.5 atm. ما كمية الغاز بالجرامات التي تذوب في 1 L إذا تم تخفيض الضغط إلى 3.5 atm؟

90. ذائبية غاز تساوي 1.80 g /L عند ضغط مقداره 37.0 kPa. ما قيمة الضغط التي تصبح عندها الذائبية 9.00 g /L؟

91. استعن **بالشكل 1–25** لمقارنة ذائبية بروميد البوتاسيوم KBr ونترات البوتاسيوم KNO_3 عند درجة حرارة 80°C .



الشكل 1–25

92. استعن بقانون هنري لإكمال **الجدول 1–8**

جدول 1-8 الذائبية والضغط

الذائبية g/L	الضغط kPa
2.9	؟
3.7	32
؟	39

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 1

93. المشروبات الغازية الضغط الجزئي لغاز CO_2 داخل زجاجة مشروب غازي هو 4.0atm عند درجة حرارة 25°C. إذا كانت ذائبية CO_2 تساوي 0.12 mol /L. وعند فتح الزجاجة ينخفض الضغط الجزئي إلى 3.0×10^{-4} atm، فما ذائبية CO_2 في الزجاجة المفتوحة؟ عبر عن إجابتك بوحدة g/L.

1-4

إتقان المفاهيم

94. عرف الخاصية الجامعة.

95. استعمل مصطلحي (المركّز والمخفّف) لمقارنة المحلول على طرفي غشاء شبه منفذ.

96. حدد كل متغير في المعادلة الآتية: $\Delta T_b = K_b m$.

97. ما المقصود بالضغط الأسموزي؟ ولماذا يعد خاصية جامعة؟

إتقان حل المسائل

98. احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على 12.1 g من النفثالين غير المتأين $C_{10}H_8$ الذائب في 0.175 kg من البنزين C_6H_6. استعن **بالجدول 6–1**.

99. إذا قمت بإذابة 179 g من $MgCl_2$ في 1.00 L ماء، فاستعن **بالجدول 6–1** على إيجاد درجة تجمد المحلول. إذا علمت أن كلوريد الماغنسيوم مادة متأينة قوية.

100. الطبخ يقوم طباخ بتحضير محلول بإضافة 12.5 g من NaCl إلى وعاء يحوي 0.750 L من الماء. عند أي درجة حرارة يغلي المحلول في الوعاء؟ استعن **بالجدول 6–1**.

101. المثلجات (الآيس كريم) يستعمل خليط الملح NaCl والثلج والماء لتبريد الحليب والكريما لصنع مثلجات (آيس كريم) منزلية. ما كمية الملح بالجرامات التي يجب إضافتها إلى الماء لتخفيض درجة التجمد 10.0 °C؟

مراجعة عامة

102. أي مذاب له أكبر تأثير في درجة غليان 1.00 kg من الماء: 50 g من كلوريد الإسترانشيوم $SrCl_2$ أم 150 g من رابع كلوريد الكربون CCl_4؟ فسر إجابتك.

جدول 9-1 هل الذوبان ممكن؟

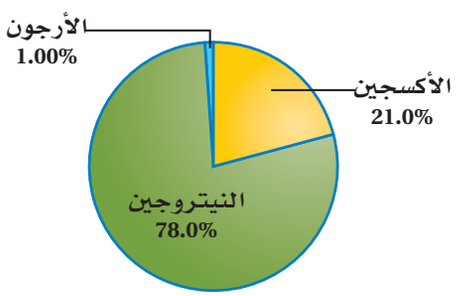
مذاب	مذيب
$MgCl_2$ صلب	H_2O سائل
NH_3 سائل	C_6H_6 سائل
H_2 غاز	H_2O سائل
I_2 سائل	Br_2 سائل

103. استعمل معرفتك بالقطبية والذائبية لتوقُّع ما إذا كان الذوبان ممكنًا في كل من الحالات الموضحة في **الجدول 9–1**. فسر إجابتك.

104. إذا قمت بتحضير محلول مائي مشبع من كلوريد البوتاسيوم عند درجة حرارة 25 °C، ثم قمت بتسخينه إلى 50 °C فهل يصبح المحلول غير مشبع، أو مشبعًا، أو فوق مشبع؟ فسِّر إجابتك.

105. ما كتلة نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ التي تلزم لتحضير 3.00 L من محلول تركيزه 0.500 M؟

106. يبين **الشكل 26–1** النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 26–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

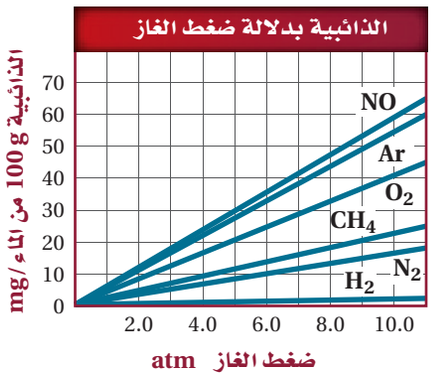
1 تقويم الفصل

التفكير الناقد

107. اعمل خطة لتحضير 1000 mL من محلول حمض الهيدروكلوريك المائي تركيزه 5% بالحجم. يجب أن تصف خطتك كميتي المذاب والمذيب اللازمة، والخطوات المستعملة في تحضير المحلول.

108. قارن واستخلص النتائج ادرس المخطط في **الشكل 21–1**، وقارن بين الخطوط المتقطعة لـ ΔT_f و ΔT_b، وصف الاختلافات التي لاحظتها. كيف يمكن لهذه الخطوط أن توضع في أماكن مختلفة تبعًا لنوع المحاليل إذا كانت متأينة أو غير متأينة؟ ولماذا؟

109. توسّع يبين **الشكل 27–1** ذائبية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. استعمل قانون هنري للتحقق من الذائبية عند (15atm).



الشكل 27–1

مسألة تحفيز

110. لديك محلول يحتوي على 135.2 g من KBr مذابة في 2.3 L من الماء. كم (mL) منه يلزم لتحضير محلول مخفف حجمه 1.5 L وتركيزه 0.1 M؟ وما درجة غليان المحلول المخفف الجديد؟

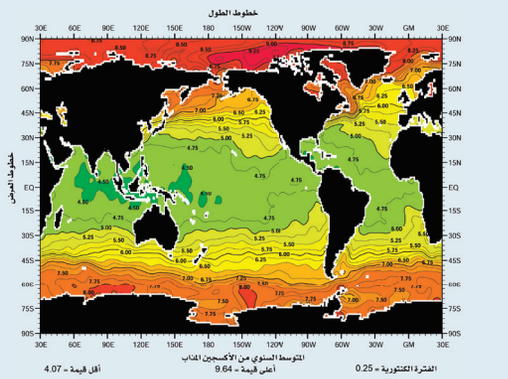
تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

111. الحليب المتجانس تم بيع أول حليب متجانس Homogenized Milk في الولايات المتحدة عام 1919م. أما اليوم فكل الحليب المبيع متجانس على شكل مستحلب غروي. ابحث عن عملية التجانس Homogenization Process. اكتب مقالة مختصرة تصف فيها العملية، وتتضمن مخططًا يوضح العملية، ومناقشة المنافع والمضار المتعلقة بشرب الحليب المتجانس.

أسئلة المستندات

المتوسط السنوي من الأكسجين المذاب تبين البيانات الموجودة في **الشكل 28–1** متوسط قيم الأكسجين الذائبة في مياه المحيطات بوحدة mL/L خلال شهر واحد من عام 2001م. لاحظ أن المحور الأفقي يمثل خطوط الطول، والمحور العمودي يمثل خطوط العرض.



الشكل 28–1

112. هل ترتبط قيم الأكسجين المذاب بشكل واضح مع خط الطول أو خط العرض؟ لماذا ترى ذلك صحيحًا؟

113. عند أي خط عرض يكون متوسط الأكسجين المذاب أقل؟

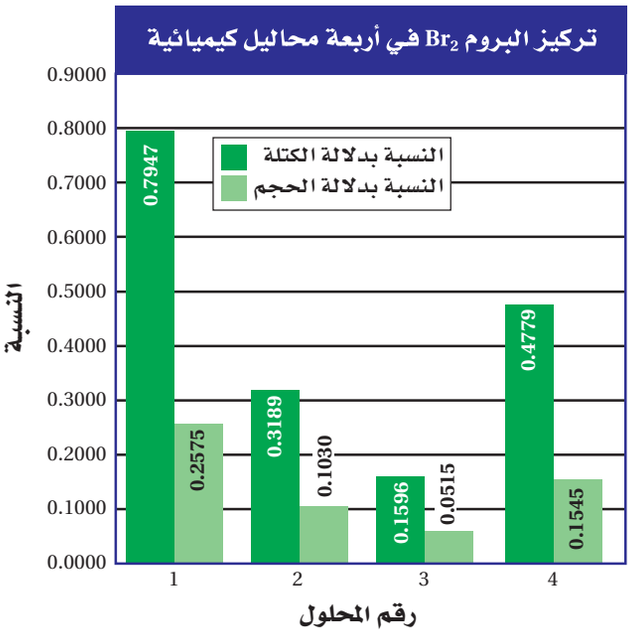
114. صف الاتجاه العام الذي توضحه البيانات، واربط ذلك مع العلاقة بين ذائبية الغاز ودرجة الحرارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و2.



1. ما حجم البروم Br_2 الذائب في 7.00 L من المحلول 1؟

a. 55.63 mL
b. 8.808 mL
c. 18.03 mL
d. 27.18 mL

2. ما كمية البروم (بالجرام) في 55.00 g من المحلول 4؟

a. 0.4779 g
b. 3.560 g
c. 1.151 g
d. 0.2628 g

3. ما نواتج التفاعل التالي؟

$$Cl_{2(g)} + 2NO_{(g)} \rightarrow$$

a. NCl_2
b. 2NOCl
c. N_2O_2
d. 2ClO

4. إذا أذيب 1mol من كل من المواد التالية في 1 L من الماء فأيها يكون له الأثر الأكبر في الضغط البخاري لمحلولها؟

a. KBr
b. $C_6H_{12}O_6$
c. $MgCl_2$
d. $CaSO_4$

استعن بالتفاعل الآتي للإجابة عن السؤال **5**.

$$Fe_3O_{4(s)} + 4H_{2(g)} \rightarrow 3Fe_{(s)} + 4H_2O_{(l)}$$

5. إذا تفاعل 16 mol H_2 فكم مولاً من Fe ينتج؟

a. 6
b. 3
c. 12
d. 9

6. ما حجم محلول كلوريد النيكل $NiCl_2$ 0.125 M الذي يحتوي على 3.25 g من $NiCl_2$ ؟

a. 406 mL
b. 32.5 mL
c. 38.5 mL
d. 201 mL

7. أي مما يأتي لا يعد خاصية جامعة؟

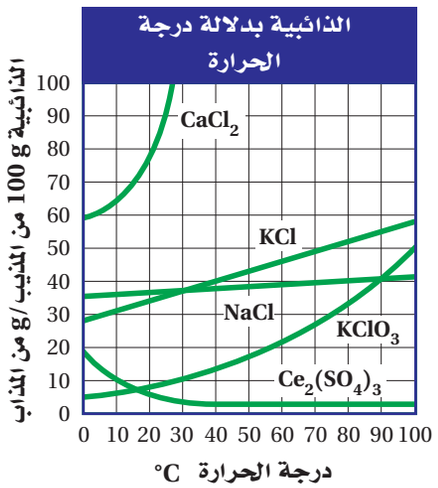
a. رفع درجة الغليان.
b. زيادة الضغط البخاري.
c. الضغط الأسموزي.
d. حرارة المحلول .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة 8 – 10.



8. ما عدد مولات $KClO_3$ التي يمكن أن تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة 60 °C؟

9. أي محاليل الأملاح يمكنه استيعاب المزيد من المذاب عند درجة حرارة 20 °C: NaCl أم KCl؟ كيف يمكن مقارنة ذلك بذائبية كل منهما عند درجة حرارة 80 °C؟

10. ما عدد مولات $KClO_3$ اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 1.0 L عند درجة حرارة 75 °C؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

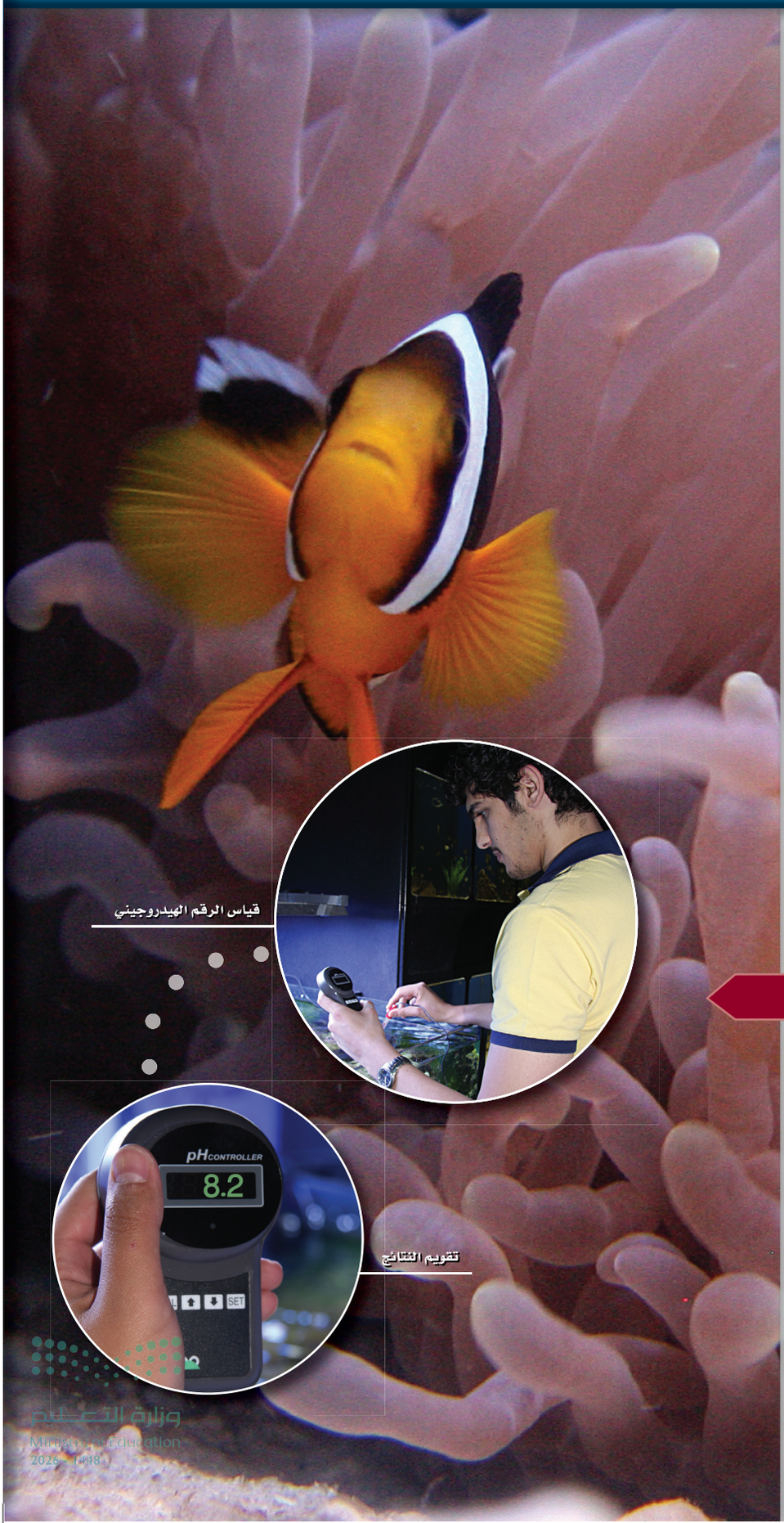
11. إذا أُعطيت عينة من مذاب صلب وثلاثة محاليل مائية تحتوي على ذلك المذاب، فكيف يمكنك تحديد أي المحاليل مشبع، وأيها غير مشبع، وأيها فوق مشبع؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 2

الأحماض والقواعد

Acids and Bases



الفكرة العامة يمكن تعريف الأحماض والقواعد باستعمال مفردات، منها: أيونات الهيدروجين، أيونات الهيدروكسيد، أزواج الإلكترونات.

2-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

2-2 قوة الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.

2-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

الفكرة الرئيسة يعبِّر كل من pH و pOH عن تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.

2-4 التعادل

الفكرة الرئيسة يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحًا وماء.

حقائق كيميائية

- تُعد pH=8.2 قيمة مقبولة عمومًا للأحياء المائية، إلا أن المحافظة على هذه القيمة في حوض السمك لا يضمن استمرار نمو المخلوقات التي تعيش فيه بصورة طبيعية.
- تستطيع القشريات التي تعيش في المياه العذبة في أمريكا الجنوبية، العيشَ في مياه لها رقم هيدروجيني pH بين 6.4 و7.0، في حين تعيش القشريات الإفريقية في مياه pH لها بين 8.0 و 9.2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تجربة استهلالية

ماذا يوجد في خزائنك؟

يمكنك أن تتعلم شيئًا حول خواص المنظفات، والمنتجات التي تستعملها في منزلك، وذلك باختبارها بأشرطة تبّاع الشمس. هل تستطيع تصنيف تلك المنتجات في مجموعتين؟



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع ثلاث إلى أربع قطرات من منتجات مختلفة في فجوات **طبق التفاعلات البلاستيكي** أو يمكنك استخدام **أنابيب الاختبار** بدلاً من ذلك. وارسم جدولاً يبين موضع كل منها.
3. اختبر كل منتج بورق **تبّاع الشمس الأزرق والأحمر**. أضف قطرتين من **الفينولفثالين** إلى كل عينة. ثمّ سجل ملاحظاتك.

تحذير: ***الفينولفثالين قابل للاشتعال. لذا أبعده عن اللهب.***

التحليل

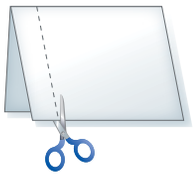
1. **صنّف** المواد في مجموعتين، بناءً على مشاهداتك.
2. **صف** كيف تختلف المجموعتان؟ وماذا يمكنك أن تستنتج؟

استقصاء اختر عينة واحدة تفاعلت مع الفينولفثالين. هل تستطيع جعل هذا التفاعل يسير بالاتجاه العكسي؟ صمم تجربة لاختبار فرضيتك.

المطويات
منظمات الأفكار

الأحماض والقواعد

اعمل المطوية الآتية لتساعدك على المقارنة بين النظريات الرئيسة للأحماض والقواعد.



الخطوة 1 أحضر ثلاث أوراق، واطو كلًّا منها عرضيًّا من المنتصف. وارسم خطًّا على بُعد 3 cm تقريبًا من الطرف الأيسر. قص الورقة على طول هذا الخط حتى تصل إلى الثنية. كرر ذلك مع الورقتين الأخريين.



الخطوة 2 عنون كل ورقة باسم نظرية من نظريات تعريف الأحماض والقواعد.



الخطوة 3 ثبّت الأوراق الثلاث معًا على طول حافاتها الخارجية.

المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 1–2**، وسجّل ملاحظاتك المتعلقة بنظريات الأحماض والقواعد في أثناء قراءة هذا القسم، ثم اكتب تفاعلات عامّة تمثل كل نظرية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1

الأهداف

- **تحدد** الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
- **تصنّف** المحاليل إلى حمضية، أو قاعدية، أو متعادلة.
- **تقارن** بين نظريات أرهينيوس، وبرونستد – لوري، ولويس للأحماض والقواعد.

مراجعة المفردات

تركيب لويس نموذج يستعمل التمثيل النقطي للإلكترونات؛ ليبين كيفية ترتيب الإلكترونات في الجزيئات.

المفردات الجديدة

المحلول الحمضي
المحلول القاعدي
نظرية أرهينيوس
نظرية برونستد – لوري
الحمض المرافق (المقترن)
القاعدة المرافقة (المقترنة)
الأزواج المترافقة
مواد مترددة (أمفوتيرية)
نظرية لويس

مقدمة في الأحماض والقواعد
Introduction to Acids and Bases

الفكرة الرئيسة **تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.**

الربط مع الحياة إن التصنيف الأكثر شيوعًا للمواد هو تصنيفها إلى أحماض وقواعد. ويمكن تمييز الأحماض من الطعم اللاذع لبعض المشروبات المفضلة لديك، أوالرائحة الحادة لبعض القواعد مثل الأمونيا في بعض المنظفات المنزلية.

خواص الأحماض والقواعد Properties of Acids and Bases

يطلق النمل حمض الميثانويك (الفورميك) عندما يشعر بخطر يهدد مستعمرته، فينبّه أفراد المستعمرة كلها. أما الأحماض المذابة في ماء المطر فتؤدي إلى تكوين كهوف كبيرة في الصخور الجيرية، وتؤدي أيضًا إلى تلف الأبنية والمواقع الأثرية القيِّمة مع مرور الزمن. وتستعمل الأحماض في إضافة نكهة إلى الكثير من المشروبات والأطعمة التي تتناولها. وهناك أيضًا حمض في المعدة يساعد على هضم الطعام. كذلك تلعب القواعد دورًا في حياتك؛ فالصابون الذي تستعمله والأقراص المضادة للحموضة التي قد تتناولها عند اضطراب المعدة كلها تعتبر من القواعد. كما أن الكثير من المواد المنزلية –كالتي استعملت في التجربة الاستهلالية – أحماض أو قواعد.

الخواص الفيزيائية قد تكون بعض الخواص الفيزيائية للأحماض والقواعد مألوفة، فأنت تعلم مثلاً أن المحاليل الحمضية طعمها لاذع، ومنها العديد من المشروبات الغازية التي تمتاز بهذا الطعم اللاذع بسبب احتوائها على حمضي الكربونيك H_2CO_3 والفوسفوريك H_3PO_4؛ ومنها الليمون والجريب فروت لاحتوائهما على حمضي الستريك والأسكوربيك؛ كما أن حمض الخل يجعل طعم الخل لاذعًا. وربما تعلم أن المحاليل القاعدية طعمها مُرّ، ولها ملمس زَلِق. فكّر كيف تصبح قطعة الصابون زلقة عندما تبتل. **لا تحاول أبدًا تعرّف أي حمض أو قاعدة أو أي مادة أخرى في المختبر عبر تذوقها أو لمسها.**

يبين **الشكل 1–2** نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحداهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية (قلوية).



(1)



(2)

الشكل **1-2** تمونبتة الأثل(1) بكثرة في المملكة العربية السعودية وتمتاز بتحملها للأراضي القلوية والمالحة.

تكثر زراعة الزيتون (2) في منطقة الجوف بالمملكة العربية السعودية وتمتاز شجرة الزيتون بتحملها لدرجات الحرارة العالية والقدرة على العيش في تربة حامضة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448





تحوّل الأحماض ورق تباع الشمس الأزرق إلى أحمر





تحوّل القواعد ورق تبّاع الشمس الأحمر إلى أزرق

الشكل 2-2 يستعمل حمض الهيدروكلوريك HCl - وهو حمض قوي- في تنظيف السيراميك. كما يساعد هيدروكسيد الصوديوم NaOH -وهو قاعدة قوية- على تسليك المصارف المسدودة.

التوصيل الكهربائي ومن الخواص الأخرى للمحاليل الحمضية والقاعدية مقدرتها على توصيل الكهرباء بسبب تأينها. فالماء النقي غير موصل للكهرباء، إلا أن إضافة حمض أو قاعدة إليه تنتج أيونات تجعل المحلول الناتج موصلاً للكهرباء.

الخواص الكيميائية يمكن تعرف الأحماض والقواعد من خلال تفاعلهما مع ورق تباع الشمس. ويمكن تعرُّف الأحماض أيضًا من خلال تفاعلاتها مع بعض الفلزات وكربونات الفلزات.

التفاعلات مع ورق تباع الشمس يعد تباع الشمس نوعًا من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في **الشكل 2-2**؛ إذ تحوّل محاليل الأحماض لون ورق تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، وتحول محاليل القواعد لون ورق تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق.

التفاعلات مع الفلزات وكربونات الفلزات يتفاعل كل من المغنسيوم والخارصين مع محاليل الأحماض، فينتج عن هذا التفاعل غاز الهيدروجين. وتصف المعادلة الآتية التفاعل بين الخارصين وحمض الهيدروكلوريك:

$$Zn_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow ZnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

وتتفاعل كربونات الفلزات CO_3^{2-} وكربونات الفلزات الهيدروجينية HCO_3^- أيضًا مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2. فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك (الخل CH_3COOH) وكربونات الصوديوم الهيدروجينية $NaHCO_3$، وينتج غاز CO_2 الذي يسبّب ظهور الفقاعات.

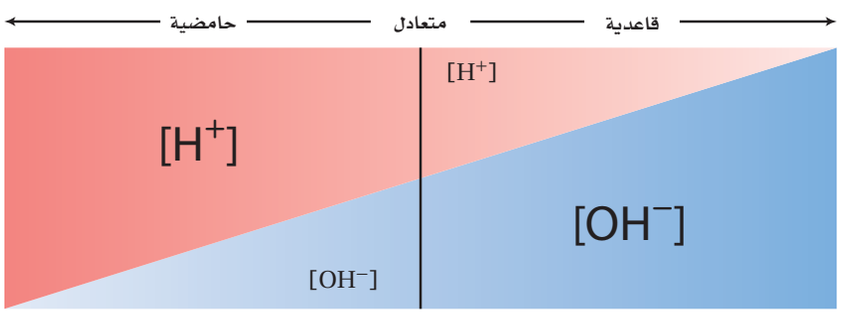
$$NaHCO_{3(s)} + CH_3COOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

يستعمل الجيولوجيون محلول حمض الهيدروكلوريك لتعرُّف الصخر الجيري (الذي يتكون بشكل رئيس من $CaCO_3$)، فإذا أدت بضع قطرات من الحمض إلى إنتاج فقاعات ثاني أكسيد الكربون دل ذلك على أن الصخر يحتوي على مادة الجير.

مسائل تدريبية

1. اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة للتفاعلات بين:
   - **a**. الألومنيوم وحمض الكبريتيك.
   - **b**. كربونات الكالسيوم وحمض الهيدروبروميك.
2. **تحفيز** اكتب المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل في السؤال 1b.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-3** لاحظ كيف يتغير كل من $[H^+]$ و $[OH^-]$ في وقت واحد.

فعندما يقل $[H^+]$ إلى جهة اليمين تزداد قيمة $[OH^-]$ إلى اليسار.

حدد على الرسم النقطة التي يكون عندها تركيزا الأيونين متساويين.

أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد تحتوي المحاليل المائية جميعها على أيونات الهيدروجين H^+ وأيونات الهيدروكسيد OH^-. وتحدد الكميات النسبية من الأيونين ما إذا كان المحلول حمضيًّا أو قاعديًّا أو متعادلاً. والمحاليل المتعادلة ليست حمضية ولا قاعدية.

يحتوي **المحلول الحمضي** على أيونات هيدروجين أكثر من أيونات الهيدروكسيد. في حين يحتوي **المحلول القاعدي** على أيونات هيدروكسيد أكثر من أيونات الهيدروجين. أما المحلول المتعادل فيحتوي على تركيزين متساويين من أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد. ويمثل **الشكل 3–2** هذه العلاقات، في حين يمثل **الشكل 4–2** كيف طوّر العلماء فهمهم للأحماض والقواعد.

ينتج الماء النقي أعدادًا متساوية من أيونات H^+ وأيونات OH^- في عملية تسمى التأين الذاتي؛ إذ تتفاعل جزيئات الماء منتجة أيونات الهيدرونيوم H_3O^+، وأيونات الهيدروكسيد.

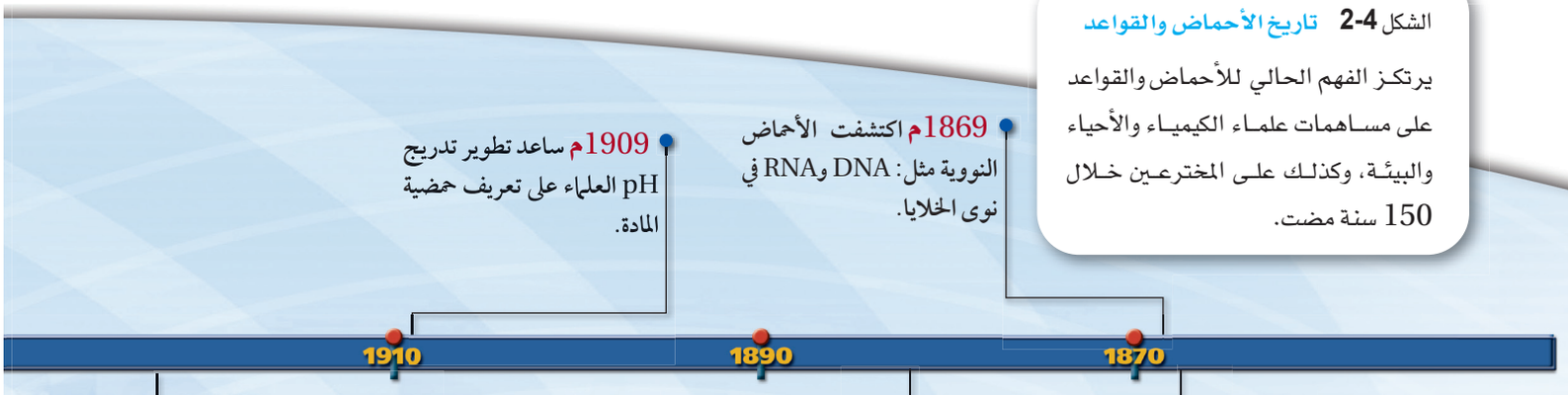
$$\underset{\text{جزيئا ماء}}{H_2O_{(l)}} + \underset{}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{أيون الهيدرونيوم}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{أيون الهيدروكسيد}}{OH^-_{(aq)}}$$

أيون الهيدرونيوم عبارة عن أيون هيدروجين مرتبط مع جزيء ماء برابطة تساهمية. ويمكن استعمال الرمزين H^+ و H_3O^+ بالتبادل، أيْ وضع أحدهما مكان الآخر، كما تبين المعادلة المبسّطة للتأين الذاتي:

$$H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

الشكل **2-4** **تاريخ الأحماض والقواعد**

يرتكز الفهم الحالي للأحماض والقواعد على مساهمات علماء الكيمياء والأحياء والبيئة، وكذلك على المخترعين خلال 150 سنة مضت.



1865م إدخال الرذاذ المعقم الذي يحتوي على حمض الكربوليك (الفينول) C_6H_5OH للمرة الأولى والذي يعد بداية الجراحة الحديثة في أجواء معقمة.

1883م افترض أرهينيوس أن الأحماض تنتج أيونات الهيدروجين H^+، في حين تنتج القواعد أيونات الهيدروكسيد OH^- عند إذابتها في الماء.

1923م توسّع العلماء في تعريف الأحماض والقواعد، وقدَّموا التعاريف المستعملة حاليًّا.

1869م اكتشفت الأحماض النووية مثل: DNA وRNA في نوى الخلايا.

1909م ساعد تطوير تدريج pH العلماء على تعريف حمضية المادة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

نظرية أرهينيوس The Arrhenius Theory

إذا كان المـاء النقـي متعـادلاً فكيف يصبـح المحلول المائـي حمضيًّا أو قاعـديًّا؟ كان أول شخص يجيب عن هذا التساؤل الكيميائي السويدي سـفانت أرهينيوس الذي اقترح عام 1883م ما يعرف الآن باسـم **نظرية أرهينيوس** للأحماض والقواعد، التي تنص على أن الحمض مادة تحتوي على الهيدروجين، وتتأين في المحاليل المائية منتجة أيونات الهيدروجين. والقاعدة مادة تحتوي على مجموعة الهيدروكسـيد، وتتفكك في المحلول المائي منتجة أيون الهيدروكسيد.

أحماض وقواعد أرهينيوس تأمـل ما يحدث عند إذابـة غاز كلوريد الهيدروجين في الماء بوصفه مثالاً على نظرية أرهينيوس للأحماض والقواعد؛ إذ تتأين جزيئات HCl مكوّنة أيونات H^+ التي تجعل المحلول حمضيًّا.

$$HCl_{(g)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

وعندمـا يذوب المركب الأيوني هيدروكسـيد الصوديوم NaOH في الماء فإنه يتحلل لينتج أيونات OH^- التي تجعل المحلول قاعديًّا.

$$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وعلى الرغم من أن نظرية أرهينيوس تفـسر الكثير من المحاليل الحمضية والقاعدية، إلا أنها لا تخلو من بعض السـلبيات؛ فمثلاً لا تحتوي الأمونيا NH_3 وكربونات الصوديوم Na_2CO_3 على مجموعة الهيدروكسيد، إلا أن كلًّا منهما ينتج أيونات الهيدروكسـيد عند إذابتـه في الماء. وتعد كربونات الصوديوم المركب المسـؤول عن جعل بحيرة ناترون في تنزانيا ذات وسط قاعدي، كما هو مبين في **الشكل 5–2**. لذا من الواضح أننا بحاجة إلى نظرية أكثر دقة تشمل القواعد جميعها.



الشكل **2-5** تعد بحيرة ناترون في تنزانيا تجمعًا طبيعيًّا للمياه القاعدية. حيث تصب المياه في البحيرة حاملة معها كميات كبيرة من كربونات الصوديوم الذائبة من الصخور البركانية المحيطة دون أن تجد لها مخرجًا. ويزيد التبخر من تركيز هذا الملح، مخلّفًا قشرة بيضاء على السطح، وجاعلاً المياه عالية القاعدية.

المطويات أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.



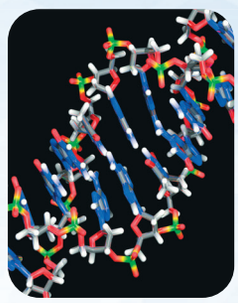
1933 – 1934م طوّر العلماء مقياس pH المحمول.

1980 – 1990م لا تحتـوي مقاييس pH التي تشتمل على رقائق السـليكون أجـزاء زجاجية، وهي شائعة الاستعمال الآن في الصناعات الغذائية والتجميلية والدوائية.

2005م طوّر العلماء الأحماض المطورة، وهي أكثر حمضيـة من حمض الكبريتيك الـذي تركيزه 100%. وتشـمل تطبيقات هذه الأحماض إنتاج بلاستيك قوي وبنزين عالي الأوكتان.

2010 — 1990 — 1970 — 1950

1953م درس جايمـس واطسون، وفرانسيس كريك، وروزالند فرانكلين الحمض النـووي DNA، واضعين بذلـك إطـارًا للصناعـة التكنولوجية الحيوية.



1963م اكتشف العلماء المطر الحمضي في أمريكا الشـمالية؛ فقد بينت الدراسات أن المطر الملوث أكثر حمضية مئة مرة من المطر غير الملوث.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

نظرية برونستد - لوري The Bronsted–Lowry Theory

اقترح الكيميائي الدنماركي يوهان برونستد والكيميائي الإنجليزي توماس لوري نظريةً أشمل للأحماض والقواعد؛ حيث تركز على أيون الهيدروجين H^+. ففي **نظرية برونستد – لوري** للأحماض والقواعد يكون الحمض هو المادة المانحة لأيون الهيدروجين، في حين تكون القاعدة هي المادة المستقبلة لهذا الأيون.

المواد المانحة لأيون الهيدروجين والمواد المستقبلة له إذا افترضنا أن الرمزين X و Y يمثلان عنصرين غير فلزيين أو أيونات سالبة متعددة الذرات فإننا نستطيع كتابة الصيغة العامة للحمض في صورة HX أو HY. وعندما يَذوب جزيء من حمض HX في الماء يعطى أيون H^+ لجزيء ماء، فيسلك جزيء الماء سلوك القاعدة، ويكتسب أيون H^+ ، كما في المعادلة الآتية:

$$HX_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + X^-_{(aq)}$$

وعند اكتساب جزيء الماء أيون H^+ يصبح حمضًا، فتصبح صيغته H_3O^+، الذي يسمى أيون الهيدرونيوم، ويعدّ حمضًا؛ لأن لديه أيون H^+ إضافيًّا يستطيع أن يمنحه. وعندما يمنح الحمض HX أيون H^+ يصبح مادة قاعدية X^-؛ لأن لديه شحنة سالبة، ويستطيع أن يستقبل أيون هيدروجين موجبًا. وهكذا يمكن أن يحدث تفاعل بين حمض وقاعدة في الاتجاه المعاكس. ويستطيع الحمض H_3O^+ أن يتفاعل مع القاعدة X^- مكونًا ماء وHX، فيحدث الاتزان الآتي:

$$HX_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + X^-_{(aq)}$$

حمض — قاعدة — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

الأحماض والقواعد المرافقة يعدّ التفاعل الأمامي في التفاعل السابق تفاعل حمض مع قاعدة. والتفاعل العكسي لحمض وقاعدة أيضًا. ويعرف الحمض والقاعدة اللذان يتفاعلان في الاتجاه العكسي بأنهما حمض مرافق مع قاعدة مرافقة. **فالحمض المرافق (المقترن)** هو المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين. فـالقاعدة H_2O تستقبل أيون الهيدروجين من الحمض HX، فيكون الحمض المرافق H_3O^+. أما **القاعدة المرافقة (المقترنة)** فهي المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين. فعندما يمنح الحمض HX أيون الهيدروجين يصبح القاعدة المرافقة X^-. وفي التفاعل المبين أعلاه يمثل أيون الهيدرونيوم H_3O^+ الحمض المرافق للقاعدة H_2O، ويمثل أيون X^- القاعدة المرافقة للحمض HX. وتتكون تفاعلات برونستد–لوري من **أزواج مترافقة** من الحمض والقاعدة؛ أي من مادتين ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيون هيدروجين واحد.

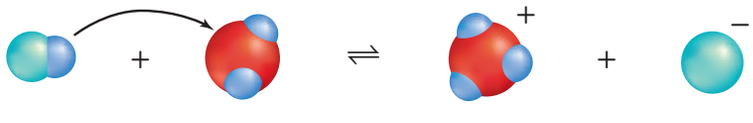
يبين **الشكل 6–2** تمثيلاً لزوج مترافق من حمض وقاعدة. فعندما تكون الكرة في يد الأب فإنه يمثل الحمض، وعندما يرمي الكرة (أيون هيدروجين) إلى ابنه يصبح ابنه هو الحمض؛ لأن لديه الكرة أيْ (أيون هيدروجين) يستطيع أن يَهَبُهُ. ويصبح الأب هو القاعدة لأنه مستعد لاستقبال الكرة أيْ (أيون الهيدروجين). الأب يمثل الحمض والابن هو القاعدة في التفاعل الأمامي. أما في التفاعل العكسي فيكون الابن هو الحمض المرافق؛ لأن لديه الكرة، في حين يكون الأب هو القاعدة المرافقة.

ماذا قرأت؟ اشرح كيف يمكن أن يكون أيون HCO_3^- حمضًا وقاعدة في آن واحد.



الشكل **6-2** يمثل الأب عندما يرمي الكرة إلى ابنه حمض برونستد – لوري ويمثل الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة فإنه يمثل الحمض المرافق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-7** يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزيء الماء، لذا يُعَد فلوريد الهيدروجين حمضًا.

حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.

فلوريد الهيدروجين – حمض برونستد – لوري تأمل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، المبينة في **الشكل 7–2**. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيهما هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الأمامي – وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين– قاعدتهُ المرافقة F^-، وتعد أيضًا القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الأمامي – وهو في هذه الحالة الماء – حمضها المرافق H_3O^+، وهو أيضًا الحمض في التفاعل العكسي.

$$\underset{\text{حمض}}{HF_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{F^-_{(aq)}}$$

يستعمل فلوريد الهيدروجين في صنع مركبات متنوعة تحتوي على الفلور، مثل الطبقة المغلفة لأدوات الطبخ غير اللاصقة، والمبينة في **الشكل 8–2**. ويعد حمضًا وفق نظريتي أرهينيوس وبرونستد – لوري، كما يُعد فلوريد الهيدروجين مركبًا شديد السمية، وقد يسبب حروقًا خطيرة عند ملامسته للجلد.

الأمونيا – قاعدة برونستد – لوري معظم الأحماض والقواعد التي تتفق مع تعريف أرهينيوس للأحماض والقواعد تتفق أيضًا مع تعريف برونستد – لوري. ولكن بعض المواد الأخرى التي لا توجد فيها مجموعة الهيدروكسيد لا يمكن أن تُعَدَّ من القواعد بحسب تعريف أرهينيوس، ولكنها تصنف قواعدًا بحسب نظرية برونستد – لوري. ومن ذلك الأمونيا NH_3. فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضًا بحسب تعريف برونستد – لوري في التفاعل الأمامي. ولأن جزيء الأمونيا NH_3 يستقبل أيون H^+ ليكوّن أيون الأمونيوم NH_4^+ فإن الأمونيا تُصنّف قاعدة برونستد – لوري في التفاعل الأمامي.

$$\underset{\text{قاعدة}}{NH_{3(aq)}} + \underset{\text{حمض}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{NH_4^+{}_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{OH^-_{(aq)}}$$

أما في التفاعل العكسي فيعطي أيون الأمونيوم NH_4^+ أيون H^+ ليكوّن جزيء أمونيا. وهكذا يعمل عمل حمض، بحسب برونستد – لوري. ويكون بذلك أيون الأمونيوم هو الحمض المرافق للقاعدة (الأمونيا). ويتقبل أيون الهيدروكسيد أيون H^+ ليكوّن جزيء ماء. وهكذا يكون قاعدة بحسب برونستد – لوري. لذا يكون أيون الهيدروكسيد هو القاعدة المرافقة للحمض والماء.

الماء – حمض وقاعدة برونستد – لوري تذكّر أنه عندما يذوب HF في الماء فإن الماء يسلك سلوك القاعدة؛ وعندما تذوب الأمونيا NH_3 في الماء، فإن الماء يسلك سلوك الحمض. لذا يسلك الماء سلوك الحمض أو القاعدة بحسب طبيعة المواد المذابة في المحلول. ويُسمى الماء والمواد الأخرى التي تستطيع أن تسلك سلوك الأحماض والقواعد مواد **مترددة (أمفوتيرية)** Amphoteric.

المفردات

أصل الكلمة

مترافق **Conjugate**

معنى كلمة Conjugate في اللغة العربية مترافق، وقد أخذت هذه الكلمة من اللغة اللاتينية، وهي تعني:

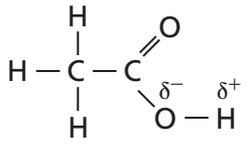
Con– بادئة بمعنى مع أو معًا.

jugate فعل بمعنى يتّصل أو يتّحد.

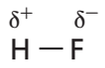


الشكل **2-8** يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تحل ذرات الفلور محل ذرات الهيدروجين.

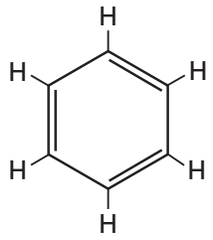
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



حمض الإيثانويك



فلوريد الهيدروجين



بنزين

الشكل **2-9** تعتمد قدرة الهيدروجين على التأين على قطبية رابطته. ففي حمض الإيثانويك يكون الأكسجين أكثر كهروسالبية من الهيدروجين، لذا تكون الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ولذلك تستطيع ذرة الهيدروجين أن تتأين في المحلول. كذلك في فلوريد الهيدروجين يعد الفلور عالي الكهروسالبية، لذا يكون HF حمضًا في المحلول، بينما في البنزين هناك فرق قليل في الكهروسالبية بين ذرات الكربون والهيدروجين، لذا فالبنزين ليس حمضًا.

مسائل تدريبية

3. حدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة في كل تفاعل مما يلي:

a. $NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$

b. $HBr_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + Br^-{}_{(aq)}$

c. $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

4. تحفيز إذا علمت أنّ نواتج تفاعل حمض مع قاعدة هي H_3O^+ و SO_4^{2-}. اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات
Monoprotic and Polyprotic Acids

تستطيع أن تعرف أن كلًّا من HCl و HF حمض يحتوي على أيون هيدروجين واحد في كل جزيء، بناءً على معرفتك للصيغة الكيميائية لكل منهما. فالحمض الذي يستطيع أن يمنح أيون هيدروجين واحدًا فقط يُسمى حمضًا أحادي البروتون. ومن الأحماض الأحادية البروتون حمض البيروكلوريك $HClO_4$، وحمض النيتريك HNO_3، وحمض الهيدروبروميك HBr، وحمض الإيثانويك CH_3COOH. ولأن حمض الإيثانويك أحادي البروتون لذا تكتب صيغته غالبًا في صورة CH_3COOH لتأكيد حقيقة أن ذرة هيدروجين واحدة فقط من الذرات الأربع قابلة للتأين.

ذرات الهيدروجين القابلة للتأين الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الإيثانويك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ويبين **الشكل 9–2** تركيب حمض الإيثانويك، مع تركيب حمض HF وتركيب البنزين C_6H_6 غير الحمضي. فترتبط ذرة الهيدروجين في مركب فلوريد الهيدروجين مع ذرة الفلور العالية الكهروسالبية، لذا فالرابطة بينهما قطبية، وتصبح ذرة الهيدروجين قابلة للتأين إلى حد ما. أما ذرات الهيدروجين في البنزين فكل منها مرتبط مع ذرة كربون ذات كهروسالبية تساوي تقريبًا كهروسالبية الهيدروجين. فتكون هذه الروابط غير قطبية، لذا يكون البنزين غير حمضي. وقد تمنح بعض الأحماض أكثر من أيون هيدروجين. فمثلاً يستطيع كل من حمض الكبريتيك H_2SO_4 وحمض الكربونيك H_2CO_3 أن يمنح أيوني هيدروجين؛ فكلاهما يحتوي على ذرتي هيدروجين مرتبطتين مع ذرتي أكسجين بروابط قطبية. والأحماض التي تحتوي على ذرتي هيدروجين قابلتين للتأين في كل جزيء تُسمى أحماضًا ثنائية البروتونات. ويحتوي كل من حمضي الفوسفوريك H_3PO_4 والبوريك H_3BO_3 على ثلاث ذرات هيدروجين قابلة للتأين في كل جزيء، وتُسمى أحماضًا ثلاثية البروتونات. ويمكن استعمال مصطلح حمض متعدد البروتونات لأي حمض يحتوي على أكثر من ذرة هيدروجين قابلة للتأين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول 1-2	بعض الأحماض الشائعة وقواعدها المرافقة		
الحمض		القاعدة المرافقة	
الاسم	الصيغة الكيميائية	الاسم	الصيغة الكيميائية
حمض الهيدروكلوريك	HCl	أيون الكلوريد	Cl^-
حمض النيتريك	HNO_3	أيون النترات	NO_3^-
حمض الكبريتيك	H_2SO_4	أيون الكبريتات الهيدروجينية	HSO_4^-
أيون الكبريتات الهيدروجنية	HSO_4^-	أيون الكبريتات	SO_4^{2-}
حمض الهيدروفلوريك	HF	أيون الفلوريد	F^-
حمض الهيدروسيانيك	HCN	أيون السيانيد	CN^-
حمض الإيثانويك	CH_3COOH	أيون الإيثانوات	CH_3COO^-
حمض الفوسفوريك	H_3PO_4	أيون ثنائي هيدروفوسفات	$H_2PO_4^-$
أيون ثنائي هيدروفوسفات	$H_2PO_4^-$	أيون الهيدروفوسفات	HPO_4^{2-}
أيون الهيدروفوسفات	HPO_4^{2-}	أيون الفوسفات	PO_4^{3-}
حمض الكربونيك	H_2CO_3	أيون الكربونات الهيدروجينية	HCO_3^-
أيون الكربونات الهيدروجينية	HCO_3^-	أيون الكربونات	CO_3^{2-}

يبين **الجدول 1–2** بعض الأحماض الأحادية والمتعددة البروتونات.

تتأين الأحماض المتعددة البروتونات جميعها في أكثر من خطوة. فخطوات تأين حمض الفوسفوريك الثلاث مبينة في المعادلات الآتية:

$$H_3PO_{4(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + H_2PO_4^-{}_{(aq)}$$

$$H_2PO_4^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$HPO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + PO_4^{3-}{}_{(aq)}$$

نظرية لويس The Lewis Theory

لاحظ أن جميع المواد المصنّفة أحماضًا وقواعد بحسب نظرية أرهينيوس تُصنف أيضًا أحماضًا وقواعد بحسب نظرية برونستد – لوري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المواد غير المصنفة بأنها قواعد بحسب نظرية أرهينيوس تُصنف قواعد بحسب نظرية برونستد – لوري.

إذن قد لا تندهش إذا علمت أن نظريةً أخرى أكثر شمولية للأحماض والقواعد اقترحها الكيميائي لويس (1875 – 1946م) الذي طوّر أيضًا نظرية زوج الإلكترونات للترابط الكيميائي، وقدم تراكيب لويس التي تبين مواقع الإلكترونات في الذرات والجزيئات. وقد طبّق نظريته على تفاعلات الأحماض والقواعد. واقترح أن الحمض أيون أو جزيء فيه مدار ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجًا من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات حر (غير مرتبط) يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وبحسب **نظرية لويس** فإن حمض لويس مادة مستقبلة لزوج من الإلكترونات، وقاعدة لويس مادة مانحة لزوج من الإلكترونات. لاحظ أن نظرية لويس تشمل جميع المواد المصنّفة أحماضًا وقواعد بحسب برونستد – لوري وغيرها كثير أيضًا.

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

المفردات

المفردات الأكاديمية

يطابق Conform

تعني: يشابه أو يماثل

كأن نقول مثلاً: إن تصرفاتهم تتطابق مع توقعات المجتمع.

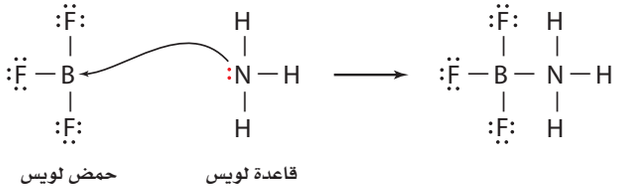
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مانحات ومستقبلات أزواج الإلكترونات تأمل التفاعل بين أيون الهيدروجين H^+ وأيون الفلوريد F^- لتكوين جزيء فلوريد الهيدروجين (HF). لقد تم توضيح دور زوج الإلكترونات من خلال تراكيب لويس الآتية:



يمثل أيون H^+ في هذا التفاعل حمض لويس؛ حيث يستقبل مدار 1s الفارغ زوجًا من الإلكترونات من أيون F^-. ويمثل أيون الفلوريد قاعدة لويس، لذا فهو يعطي زوجًا من الإلكترونات غير المشترك ليكون الرابطة بين الهيدروجين والفلور في HF. لاحظ أن هذا التفاعل يتطابق أيضًا مع نظرية برونستد – لوري للأحماض والقواعد؛ لأن H^+ يمكن اعتباره مانحًا لأيون هيدروجين، وF^- مستقبلاً لأيون هيدروجين.

فتفاعل غاز ثالث فلوريد البورون BF_3 مع غاز الأمونيا NH_3 لتكوين BF_3NH_3 هو تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس.

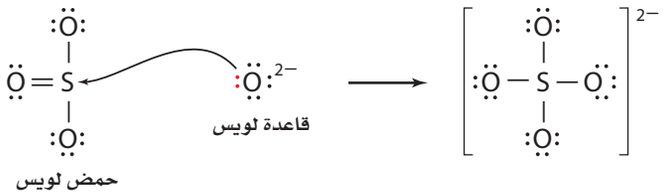


وإن ذرة البورون في BF_3 لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

ويحدث تفاعل حمض لويس مع قاعدة لويس أيضًا عندما يتفاعل غاز ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مع أكسيد الماغنسيوم الصلب MgO.

$$SO_{3(g)} + MgO_{(s)} \rightarrow MgSO_{4(s)}$$

حيث يمثل زوج الحمض – القاعدة في هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت SO_3 وأيون الأكسيد O^{2-} من أكسيد الماغنسيوم، أما الناتج فهو أيون الكبريتات.



لاحظ أن حمض لويس–وهو في هذه الحالة جزيء SO_3– يستقبل زوج إلكترونات من قاعدة لويس، وهو أيون O^{2-}. ويلخص **الجدول 2–2** نظريات أرهينيوس، وبرونستد – لوري، ولويس للأحماض والقواعد .

الجدول 2-2 ملخص النظريات الثلاث للأحماض والقواعد

النظرية	تعريف الحمض	تعريف القاعدة
أرهينيوس	منتج H^+	منتج OH^-
برونستد – لوري	مانح H^+	مستقبل H^+
لويس	يستقبل زوجًا من الإلكترونات	يمنح زوجًا من الإلكترونات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

يعد تفاعل SO_3 مع MgO مهمًّا؛ لأنه ينتج بلورات من ملح كبريتات الماغنسيوم، تعرف باسم ملح إبسوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. ولهذا الملح استعمالات كثيرة، منها تخفيف آلام العضلات، وهو مغذٍّ للنباتات. وللتفاعل الذي ينتج كبريتات الماغنسيوم أيضًا تطبيقات بيئية؛ فعندما يحقن MgO في الغازات الخارجة من مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في **الشكل 10–2** فإنه يتفاعل مع SO_3 ويعمل على انتزاعه من الغازات العادمة الخارجة من المصنع إلى الجو. أما إذا ترك SO_3 لينتشر في الغلاف الجوي فسوف يتحد مع الماء الموجود في الهواء مكونًا حمض الكبريتيك الذي يسقط على الأرض في صورة مطر حمضي.

الربط مع علم الأرض **الأنهيدريدات** تتحد جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون بجزيئات الماء في الجو لتكون حمض الكربونيك H_2CO_3، الذي يهطل مع المطر، وعندما يصل ماء المطر الحمضي إلى الأرض يتسرب جزء منه في التربة ليصل إلى الصخور الجيرية، فيؤدي إلى إذابتها ببطء، مما يسبب تكوّن كهوف ضخمة تحت الأرض عبر آلاف السنين، وتقطر المياه من سقوف الكهوف مخلّفة الجير المذاب. وهذا الجير يتكون على هيئة رقاقات جليدية تتدلى من السقف تسمى الهوابط. وكذلك تتكون كتل من كربونات الكالسيوم على أرض الكهوف تسمى الصواعد.

تتكوَّن مثل هذه الكهوف لأن ثاني أكسيد الكربون أنهيدريد حمضي (حمض منزوع منه جزئ ماء)، وهو أكسيد يستطيع أن يتحد مع الماء ليكوّن حمضًا. وهناك أكاسيد أخرى تتحد مع الماء مكوّنة قواعد. فمثلاً يكوّن أكسيدُ الكالسيوم CaO (الجير الحي) عندما يذوب في الماء القاعدةَ هيدروكسيدَ الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير المطفأ). وعمومًا تكوّن أكاسيدُ العناصر الفلزية القواعدَ؛ بينما تكوّن أكاسيدُ اللافلزات الأحماضَ.



الشكل **2-10** يمكن إزالة ثالث أكسيد الكبريت – وهو أحد الغازات العادمة الناتجة عن احتراق الفحم الحجري بتفاعله مع أكسيد الماغنسيوم في تفاعل حمض وقاعدة لويس. لاحظ أنه رغم خروج كميات كبيرة من البخار من أبراج التبريد، إلاّ أنّ الذي يمكن رؤيته من المدخنة قليل.

التقويم 2-1

الخلاصة

- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًّا، أم قاعديًّا، أم متعادلاً.
- يجب أن يحتوي حمض أرهينيوس على ذرة هيدروجين قابلة للتأين. ويجب أن تحتوي قاعدة أرهينيوس على مجموعة هيدروكسيد قابلة للتأين.
- حمض برونستد – لوري مادة مانحة لأيون هيدروجين، بينما قاعدة برونستد – لوري مادة مستقبلة لأيون هيدروجين.
- حمض لويس مادة تستقبل زوجًا من الإلكترونات، بينما قاعدة لويس مادة تعطي زوجًا من الإلكترونات.

5. **الفكرة الرئيسة** **فسّر** لماذا لا تُصنّف الكثير من أحماض وقواعد لويس على أنها أحماض أو قواعد أرهينيوس أو برونستد – لوري؟
6. **قارن** بين الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
7. **وضح** كيف تحدد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًّا أم قاعديًّا أم متعادلاً؟
8. **اشرح** لماذا لا يصنف العديد من المركبات التي تحتوي على ذرة هيدروجين أو أكثر بوصفها أحماض أرهينيوس؟
9. **حدّد** الأزواج المترافقة من الأحماض والقواعد في المعادلة الآتية:

$$HNO_2 + H_2O \rightleftharpoons NO_2^- + H_3O^+$$

10. **اكتب** تركيب لويس لثالث كلوريد الفوسفور PCl_3. هل يعد PCl_3 حمض لويس، أم قاعدة لويس، أم غير ذلك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2

قوة الأحماض والقواعد
Strengths of Acids and Bases

الأهداف

- **تربط** قوة الحمض والقاعدة مع درجة تأينهما.
- **تقارن** قوة حمض ضعيف بقوة قاعدته المرافقة.
- **تشرح** العلاقة بين قوى الأحماض والقواعد وقيم ثوابت تأينها.

مراجعة المفردات

إلكتروليت: مادة يوصل محلولها المائي التيار الكهربائي.

المفردات الجديدة

الحمض القوي

الحمض الضعيف

ثابت تأين الحمض

القاعدة القوية

القاعدة الضعيفة

ثابت تأين القاعدة

الفكرة الرئيسة **تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًا.**

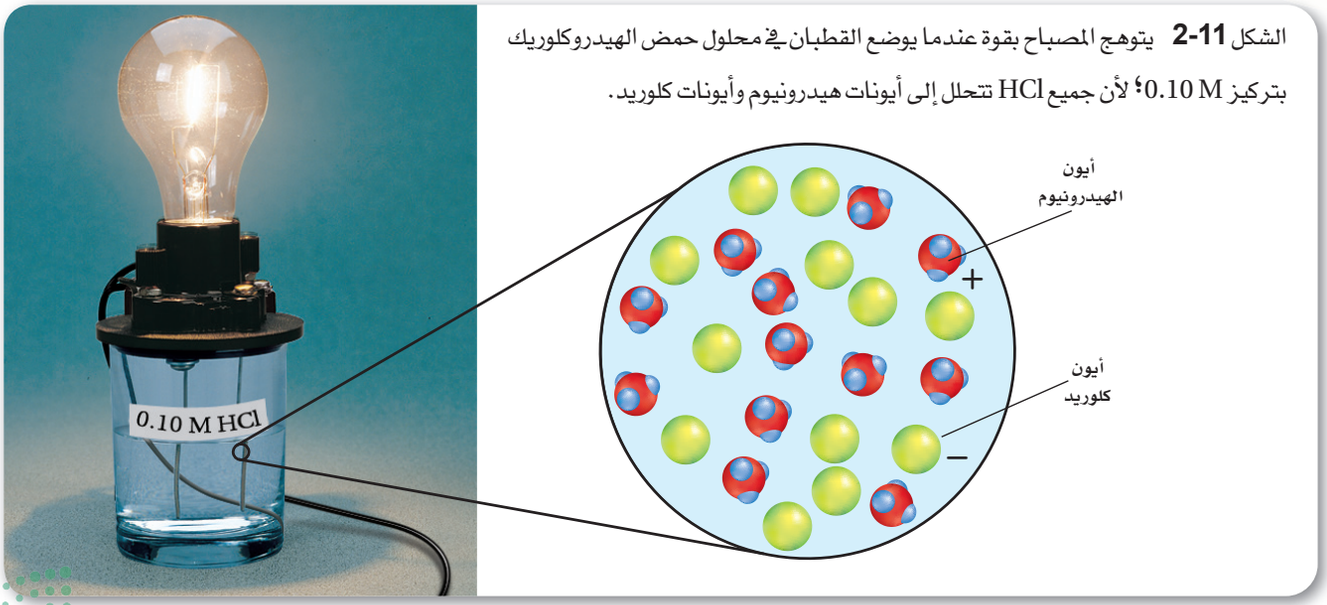
الربط مع الحياة تعتمد التمريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على كلٍّ من المرسل والمستقبل، فيُعرف مثلاً مدى استعداد المرسل لتمرير الكرة، ومدى استعداد المستقبل لاستقبال الكرة. وكذلك الحال في تفاعلات الأحماض والقواعد؛ حيث يعتمد سير التفاعل على مدى استعداد الحمض لمنح أيون الهيدروجين، ومدى استعداد القاعدة لاستقباله.

قوة الأحماض Strengths of Acids

من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟

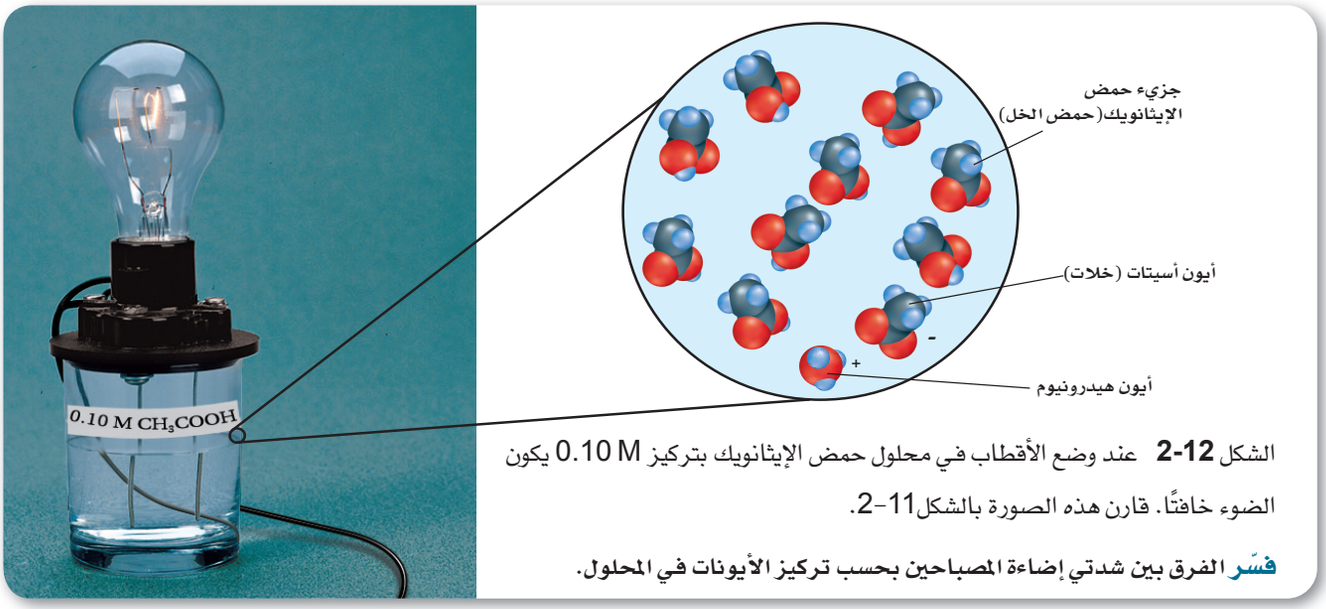
افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخل). يدل توهج المصباح الكهربائي في **الشكل 11–2** على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في **الشكل 11–2** بتوهج المصباح المتصل بمحلول CH_3COOH في **الشكل 12–2** فلا بد أن تلاحظ فرقًا؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول CH_3COOH. فلمَ هذا الفرق مع أن تركيزي الحمضين متساويان؟

الأحماض القوية يعتمد توصيل التيار الكهربائي على عدد الأيونات في المحلول. وقد تأينت جزيئات HCl الموجودة في المحلول جميعها كليًّا مكونةً أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 11-2 يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-12** عند وضع الأقطاب في محلول حمض الإيثانويك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتًا. قارن هذه الصورة بالشكل 11-2.

فسّر الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين بحسب تركيز الأيونات في المحلول.

وتسمى الأحماض التي تتأين كليًّا **أحماضًا قوية**. ولأن الأحماض القوية تنتج أكبر عدد من الأيونات، لذا فهي موصلات جيدة للكهرباء.

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

الأحماض الضعيفة إذَا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول ـ كما في **الشكل 11-2** ـ فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول CH_3COOH، المبين في **الشكل 12-2**، لا بد أن يكون سببها احتواء محلول حمض الإيثانويك (الخل) على عدد أقل من الأيونات. ولأن المحلولين يحتويان على التركيز المولاري نفسه لذا نستنتج أن حمض الإيثانويك لا يتأين كليًّا. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئيًّا فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيدًا مثل الأحماض القوية. ويبين **الجدول 3-2** معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

الجدول 2-3 معادلات التأين

أحماض قوية		أحماض ضعيفة	
الاسم	معادلات التأين	الاسم	معادلات التأين
الهيدروكلوريك	$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$	الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$
الهيدرويوديك	$HI \rightarrow H^+ + I^-$	الإيثانويك	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^-$
البيركلوريك	$HClO_4 \rightarrow H^+ + ClO_4^-$	كبريتيد الهيدروجين	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$
النيتريك	$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$	الكربونيك	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$
الكبريتيك	$H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$	الهيبوكلوروز	$HClO \rightleftharpoons H^+ + ClO^-$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

واقع الكيمياء في الحياة

سيانيد الهيدروجين



مركب مميت سيانيد الهيدروجين HCN غاز سام يوجد في عوادم المَرْكبات، وفي دُخان التبغ والخشب، وفي دُخان البلاستيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسمى محلول سيانيد الهيدروجين في الماء حمض الهيدروسيانيك. وتحتوي نوى بعض الفواكه –ومنها الكرز والخوخ– على سيانوهيدرين الذي يتحول إلى حمض الهيدروسيانيك في الجهاز الهضمي إذا أكلت النواة. ولكن لا يوجد حمض الهيدروسيانيك في لب هذه الثمار، لذا يمكن أكله بأمان.

قوة الحمض ونظرية برونستد – لوري هل تستطيع نظرية برونستد – لوري تفسير سبب تأين HCl كليًّا بينما يكوِّن $HC_2H_3O_2$ القليل من الأيونات؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكّر أن الحمض الموجود على جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة على جهة المواد المتفاعلة تنتج حمضًا مرافقًا.

$$\underset{\text{حمض}}{HX_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightarrow \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{X^-_{(aq)}}$$

يمثّل HX حمضًا قويًّا وقاعدته المرافقة ضعيفة. أيْ أن HX يتأين بنسبة 100% تقريبًا؛ لأن الماء قاعدة أقوى (في التفاعل الأمامي) من قاعدته المرافقة X^- (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كليًّا تقريبًا إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة H_2O لأيون H^+ أكبر من جذب القاعدة المرافقة X^-. فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيهما لديه قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين: H_2O أم X^-؟ الماء هو القاعدة الأقوى عندما تكون الأحماض كلها قوية. لاحظ أن المعادلة مبينة بسهم واحد إلى اليمين.

كيف يختلف الوضع لأي حمض ضعيف HY؟

$$\underset{\text{حمض}}{HY_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{Y^-_{(AQ)}}$$

يميل اتزان التأين للحمض الضعيف إلى يسار المعادلة؛ لأن القاعدة المرافقة Y^- لديها جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة H_2O. وتعد القاعدة المرافقة Y^- (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي)، وتستطيع أن تستولي على أيون H^+. فمثلاً في حالة حمض الإيثانويك (الخل) تعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي).

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2{}^-_{(aq)}$$

لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

ماذا قرأت؟ لخص أهم الاختلافات بين الأحماض القوية والأحماض الضعيفة عند تفاعلها مع القواعد.

ثابت تأين الحمض تساعد نظرية برونستد – لوري على تفسير قوة الأحماض، إلا أنها لا تُعبِّر بطريقة كمية عن قوة الحمض، ولاتقارن بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياسًا كميًّا لقوة الحمض.

إن الحمض الضعيف ينتج خليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحلول المائي. لذا يعطي ثابت الاتزان K_{eq} قياسًا كميًّا لدرجة تأين الحمض. تأمل حمض الهيدروسيانيك HCN، الذي يستعمل في الصباغة، والحفر على الفولاذ، وتليينه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

فيما يأتي معادلة التأين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:

$$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN][H_2O]}$$

يعد تركيز الماء السائل في مقام تعبير ثابت الاتزان ثابتًا في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمجه مع K_{eq} ليعطي ثابت اتزان جديدًا K_a.

$$K_{eq}\,[H_2O] = K_a = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN]} = 6.2 \times 10^{-10}$$

يسمى K_a **ثابت تأين الحمض**، وهو قيمة ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف. وكما في تعابير الاتزان جميعها، تدل قيمة K_a على ما إذا كانت المواد المتفاعلة أو النواتج هي المفضلة عند الاتزان. أما للأحماض الضعيفة فتميل تراكيز الأيونات (النواتج) في البسط إلى أن تكون صغيرة مقارنة بتركيز الجزيئات غير المتأينة (المواد المتفاعلة) في المقام. وتكون قيم K_a للأحماض الأضعف أصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتأينة. ويحتوي **الجدول 4–2** على قائمة لقيم K_a ومعادلات التأين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست بالضرورة قوية التأين؛ فلكل تأين للحمض المتعدد البروتونات قيمة K_a مختلفة.

مهن في الكيمياء

عامل المشتل الوظيفة الرئيسة لعامل المشتل هي الاهتمام بتكاثر النباتات ونموها. وهذا يشمل زراعتها وتقليمها ونقلها. وبيع جميع أنواع المواد التي تتعلق بالنباتات. لذا يجب أن يعرف عامل المشتل المغذيات التي يحتاج إليها النبات للنمو الأفضل وظروف التربة، ومنها حموضة التربة التي تعزز نمو كل نوع من النباتات.

مسائل تدريبية

11. اكتب معادلات التأين وتعابير ثابت تأين الحمض لكل مما يأتي:

a. $HClO_2$ b. HNO_2 c. HIO

12. اكتب معادلة التأين الأولى والثانية لحمض السلينوز H_2SeO_3.

13. تحفيز إذا أعطيت المعادلة الرياضية الآتية: $K_a = \frac{[AsO_4^{3-}][H_3O^+]}{[HAsO_4^{2-}]}$، فاكتب المعادلة الموزونة للتفاعل.

الجدول 4-2 ثوابت تأين الأحماض الضعيفة

الحمض	معادلة التأين	K_a (298 K)
كبريتيد الهيدروجين، التأين الأول	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$	8.9×10^{-8}
كبريتيد الهيدروجين، التأين الثاني	$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$	1×10^{-19}
الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$	6.3×10^{-4}
الهيدروسيانيك	$HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$	6.2×10^{-10}
الإيثانويك (حمض الخل)	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$	1.8×10^{-5}
الكربونيك، التأين الأول	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$	4.5×10^{-7}
الكربونيك، التأين الثاني	$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$	4.7×10^{-11}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تجربة

قارن بين قوى الأحماض

كيف تستطيع أن تحدد القوى النسبية للمحاليل الحمضية؟

الخطوات



1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل مخبارًا مدرجًا سعته 10 mL لقياس 3 mL من حمض الإيثانويك المركز. استعمل القطارة لنقل الحمض إلى الفجوة A1 من طبق التفاعلات البلاستيكي ذي الأربع والعشرين فجوة. ويمكنك استخدام أنابيب الاختبار كبديل في حالة عدم توفر طبق التفاعلات.
   تحذير: ***حمض الإيثانويك (الخل) المركز مادة أكّالة وسامّة عند الاستنشاق؛ لذا تعامل معها بحذر.***
3. ضع قطبي جهاز الموصلية الكهربائية (الدائرة الكهربائية) في الفجوة A1، وسجّل ملاحظاتك.
4. اغسل المخبار المدرّج والقطارة بالماء، ثم قس 3 mL من حمض الإيثانويك 6.0 M وضعها في الفجوة A2 من طبق التفاعلات. افحص موصلية المحلول وسجلها.
5. أعد الخطوة 4 باستعمال حمض الإيثانويك الذي تركيزه 1.0 M وحمض الإيثانويك 0.10 M والفجوتين A3 و A4 على التوالي.

التحليل

1. اكتب معادلة تأين حمض الإيثانويك في الماء، وتعبير ثابت الاتزان ($K_{eq} = 1.8 \times 10^{-5}$). علامَ تدل قيمة K_{eq} فيما يخص درجة التأين؟
2. اشرح هل تتفق نسب التأين المئوية التقريبية الآتية مع نتائجك؟
   حمض الإيثانويك (حمض الخل) المركز
   حمض الإيثانويك 6.0 M، 0.1%
   حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.2%
   حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.4%
   حمض الإيثانويك 0.1 M، 1.3%
3. **اقترح** فرضية تشرح ملاحظاتك مستعينًا في ذلك بإجابتك عن السؤال 2.
4. استعمل فرضيتك للتوصل إلى استنتاج يتعلق بضرورة استعمال كميّات كبيرة من الماء للغسل عندما ينسكب حمض على نسيج حي.

قوة القواعد Strengths of Bases

تطلق القواعد أيونات OH^-، ويعتمد توصيل القاعدة للتيار الكهربائي على مقدار ما تنتجهُ من أيونات OH^- في المحلول المائي.

القواعد القوية القاعدة التي تتحلل كليًّا منتجة أيونات فلزية وأيونات الهيدروكسيد تعرف بأنها **قاعدة قوية**. لذا فهيدروكسيدات الفلزات ـ ومنها هيدروكسيد الصوديوم NaOH – قواعد قوية.

$$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات ـ ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ – مصدرًا ضعيفًا لأيونات OH^-؛ لأن ذائبيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذائبية K_{sp} لهيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من OH^- توجد في المحلول المشبع.

$$Ca(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \quad K_{sp} = 6.5 \times 10^{-6}$$

ومع ذلك فإن هيدروكسيد الكالسيوم وغيره من هيدروكسيدات الفلزات القليلة الذوبان قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب منها يتأيَّن كليًّا. ويبين **الجدول 5–2** معادلات تحلل بعض القواعد القوية .

القواعد الضعيفة تتأين **القواعد الضعيفة** جزئيًّا فقط في المحاليل المائية المخففة. فمثلاً يتفاعل ميثيل أمين CH_3NH_2 مع الماء لينتج محلولًا متزنًا من جزيئات CH_3NH_2، وأيونات $CH_3NH_3^+$، وأيونات OH^-.

$$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH^+_{3(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

الجدول 5-2
معادلات التأين للقواعد القوية

$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$KOH_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$RbOH_{(s)} \rightarrow Rb^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$CsOH_{(s)} \rightarrow Cs^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$Ca(OH)_{2(s)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$
$Ba(OH)_{2(s)} \rightarrow Ba^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول 6-2	ثابت التأين لبعض القواعد الضعيفة	
القاعدة	معادلة التأين	K_b (298 K)
إيثيل أمين	$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	5.0×10^{-4}
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-4}
الأمونيا	$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	2.5×10^{-5}
الأنيلين	$C_6H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-10}

يميل هذا الاتزان إلى اليسار؛ لأن القاعدة CH_3NH_2 ضعيفة، والقاعدة المرافقة OH^- قوية؛ لأن قوة جذب أيون الهيدروكسيد لأيون الهيدروجين أقوى من جذب جزيء الميثيل أمين لأيون الهيدروجين.

ثابت تأين القواعد تكوِّن القواعد الضعيفة مخاليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية، كما في الأحماض الضعيفة. ويعد ثابت الاتزان قياسًا لمدى تأين القاعدة. وتبين المعادلة الآتية ثابت الاتزان لتأين الميثيل أمين في الماء:

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]}$$

ويمكن تعريف **ثابت تأين القاعدة** K_b بأنه قيمة تعبر عن ثابت الاتزان لتأين القاعدة الضعيفة. وكلما صغرت قيمة K_b كانت القاعدة أضعف. ويبين **الجدول 6–2** قيم K_b ومعادلات التأين لبعض القواعد الضعيفة.

مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات التأين وتعبير ثابت التأين للقواعد الآتية:

a . هكسيل أمين $C_6H_{13}NH_2$ **c** . أيون الكربونات CO_3^{2-}

b . بروبيل أمين $C_3H_7NH_2$ **d** . أيون الكبريتات الهيدروجينية HSO_4^-

15. تحفيز اكتب معادلة اتزان قاعدة يكون فيها PO_4^{3-} قاعدة في التفاعل الأمامي، و OH^- قاعدة في التفاعل العكسي.

التقويم 2-2

الخلاصة

- تتأيَّن الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة. بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة تأيُّنًا جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.

16. الفكرة الرئيسة **صف** محتويات محاليل مائية مخففة للحمض القوي HI والحمض الضعيف HCOOH.

17. ما العلاقة بين قوة الحمض الضعيف وقوة قاعدته المرافقة؟

18. حدّد الأزواج المترافقة للحمض والقاعدة في كل معادلة مما يأتي:

a. $HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCOO^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$

b. $NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

19. اشرح ما الذي يمكن أن تستفيده من معرفة أن قيمة K_b للأنيلين $C_6H_5NH_2$ هي $K_b = 4.3 \times 10^{-10}$؟

20. فسّر البيانات استعمل البيانات في **الجدول 4–2** لترتيب الأحماض السبعة تصاعديًّا بحسب توصيلها للكهرباء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3

أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني
Hydrogen Ions and pH

الأهداف

- **تشرح** معنى المصطلحات pH وpOH.
- **تربط** بين pH و pOH وثابت التأين للماء.
- **تحسب** قيمة pH وpOH للمحاليل المائية.

مراجعة المفردات

مبدأ لوتشاتلييه: ينص على أنه إذا وقع ضغط على نظام في حالة اتزان فإن النظام يتجه في الاتجاه الذي يقلّل من ذلك الضغط.

مفردات جديدة

ثابت تأيُّن الماء K_w

الرقم الهيدروجيني pH

الرقم الهيدروكسيدي pOH

الفكرة الرئيسة **يعبِّر كل من pH و pOH عن تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.**

الربط مع الحياة لعلك شاهدت طفلين يلعبان على لعبة التوازن (السيسو). عندما يرتفع أحد طرفي العارضة يهبط الطرف الآخر. وأحيانًا تتوازن العارضة في الوسط. تسلك تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية سلوكًا مماثلاً.

ثابت التأيُّن للماء Ion Product Constant for Water

يحتوي الماء النقي على تراكيز متساوية لأيونات H^+ و OH^- التي تنتج عن تأينه الذاتي. ويبين **الشكل 13–2** تكون أعداد متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد في عملية التأين الذاتي للماء. ويمكن تبسيط معادلة الاتزان على النحو الآتي:

$$H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

ثابت تأين الماء K_w يشير السهم الثنائي إلى أن هذا تفاعل اتزان. لذا تذكّر أنه يجب كتابة تعبير ثابت الاتزان بوضع تراكيز النواتج في البسط، وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام. وفي هذه الحالة، جميع المواد قوتها واحد؛ لأن معاملاتها جميعها في المعادلة الكيميائية 1. ولأن تركيز الماء النقي ثابت، لذا لا يظهر $[H_2O]$ في المقام.

ثابت تأين الماء K_w

حيث إن K_w ثابت تأين الماء.

و $[H^+]$ تركيز أيون الهيدروجين.

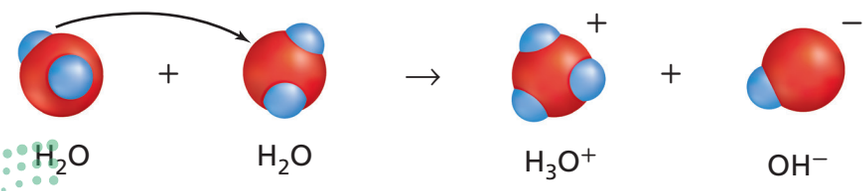
و $[OH^-]$ تركيز أيون الهيدروكسيد.

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المائية المخففة يساوي K_w.

والتعبير K_w هو حالة خاصة لثابت الاتزان، ينطبق فقط على الماء. ويسمى **ثابت تأين الماء**، وهو قيمة تعبر عن ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء. لقد بينت التجارب أنّ $[OH^-]$ و $[H^+]$ للماء النقي عند 298 K تكون متساوية؛ حيث يساوي كل منها 1.0×10^{-7}M. لذا تكون قيمة K_w عند درجة الحرارة 298 K تساوي 1.0×10^{-14}

$$K_w = [H^+][OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7})$$
$$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$



الشكل **2-13** يسلك أحد جزيئات الماء في التأين الذاتي للماء سلوك الحمض، ويسلك الجزيء الآخر سلوك القاعدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

K_w ومبدأ لوتشاتلييه حاصل ضرب $[H^+]$ و $[OH^-]$ يساوي دائمًا 1.0×10^{-14} عند درجة حرارة 298 K. وهذا يعني أنه إذا زاد تركيز أيونات H^+ نقص تركيز أيونات OH^-. وبالمثل فإن الزيادة في تركيز OH^- تسبب نقصانًا في تركيز أيونات H^+. فكّر في هذه التغييرات من خلال مبدأ لوتشاتلييه؛ حيث تسبب إضافة أيونات هيدروجين إضافية إلى إضطراب في حالة الاتزان، فيعمل النظام على التقليل من تأثير الزيادة في التركيز؛ حيث تتفاعل أيونات H^+ المضافة مع أيونات OH^- لتكوّن المزيد من جزيئات الماء، وهكذا يقل تركيز OH^-.

يبين **المثال 1–2** كيف تستعمل K_w لحساب تركيز H^+ أو OH^- إذا عرفت تركيز أحدهما.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا لا يتغير K_w عند زيادة تركيز أيونات الهيدروجين؟

مثال 1-2

احسب قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ باستعمال K_w إذا كان تركيز أيون H^+ في كوب قهوة عند درجة حرارة 298 K هو 1.0×10^{-5} M، فما تركيز أيون OH^- في القهوة؟ هل تعد القهوة حمضية، أم قاعدية، أم متعادلة؟

1 تحليل المسألة

لديك تركيز أيون H^+، وتعرف أن K_w يساوي 1.0×10^{-14}. يمكنك استعمال قانون ثابت تأين الماء لإيجاد $[OH^-]$. ولأن $[H^+]$ أكبر من 1.0×10^{-7}، لذا يمكنك أن تتوقع أن يكون $[OH^-]$ أقل من 1.0×10^{-7}

المعطيات

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}$ M

$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$

المطلوب

$[OH^-] = ?$ mol/L

2 حساب المطلوب

استعمل قانون ثابت تأين الماء.

اكتب تعبير ثابت تأين الماء.

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

أوجد قيمة $[OH^-]$:

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

عوّض $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$.

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-5}$ M.

$$[OH^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1.0 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$$

لأن قيمة $[H^+] > [OH^-]$، **لذا فإن القهوة حمضية.**

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، تكون قيمة $[OH^-]$ أقل من 1.0×10^{-7} mol/L.

مسائل تدريبية

21. فيما يأتي قيم تراكيز H^+ و OH^- لأربعة محاليل مائية عند درجة حرارة 298 K. احسب $[H^+]$ أو $[OH^-]$ لكل محلول، ثم حدد ما إذا كان المحلول حمضيًّا، أم قاعديًّا، أم متعادلاً.

a. $[H^+] = 1.0 \times 10^{-13}$ M

b. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ M

c. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-3}$ M

d. $[H^+] = 4.0 \times 10^{-5}$ M

22. تحفيز احسب عدد أيونات H^+ وعدد أيونات OH^- في 300 mL من الماء النقي عند درجة حرارة 298 K.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الرقم الهيدروجيني pH والرقم الهيدروكسيديpOH

تكون تراكيز H^+ غالبًا أرقامًا صغيرة يعبّر عنها بطريقة علمية. ولصعوبة استعمال هذه الأرقام تبنّى الكيميائيون طريقة أسهل للتعبير عنها.

ما الرقم الهيدروجيني pH؟ يعبِّر الكيميائيون عن تركيز أيونات الهيدروجين باستعمال تدريج الرقم الهيدروجيني pH المبني على اللوغاريتمات. لذا فإن **الرقم الهيدروجيني pH** لمحلول ما هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين.

الرقم الهيدروجيني pH

يمثل $[H^+]$ تركيز أيون الهيدروجين

$$pH = -\log [H^+]$$

قيمة pH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين.

تكون قيم pH للمحاليل الحمضية عند درجة حرارة 298 K أقل من 7. بينما تكون قيمها للمحاليل القاعدية أكبر من 7. وهكذا يكون المحلول الذي قيمة pH له تساوي 0.0 حمضًا قويًّا؛ بينما يكون المحلول الذي قيمة pH له تساوي 14 قاعدة قوية. وتعني الطبيعة اللوغاريتمية في هذه الحالة لتدريج pH أن تغير وحدة واحدة من pH يمثل تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز الأيون. فالمحلول الذي pH له تساوي 3 له عشرة أضعاف تركيز المحلول الذي pH له تساوي 4. ويبين **الشكل 14–2** تدريج pH وقيمها لبعض المواد الشائعة.

ما الرقم الهيدروكسيدي pOH؟ يكون من المناسب أحيانًا التعبير عن قاعدية (قلوية) محلول ما على تدريج pOH والذي يعكس صورة العلاقة بين pH و$[H^+]$. ويعرف **الرقم الهيدروكسيدي pOH** لمحلول ما بأنه سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

الرقم الهيدروكسيدي POH

يمثل تركيز أيون الهيدروكسيد $[OH^-]$

$$pOH = -\log [OH^-]$$

قيمة pOH لمحلول ما تساوي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

تكون قيم pOH عند درجة حرارة 298 K للمحاليل القاعدية أقل من 7، وللمحاليل المتعادلة تساوي 7؛ بينما يكون المحلول الذي قيمة pOH له أعلى من 7 حمضيًّا. وكما في تدريج pH يمثل تغير وحدة واحدة من pOH تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز OH^-. وهناك علاقة بين pH و pOH تمكننا من حساب أي منهما إذا عُرفت قيمة الآخر.

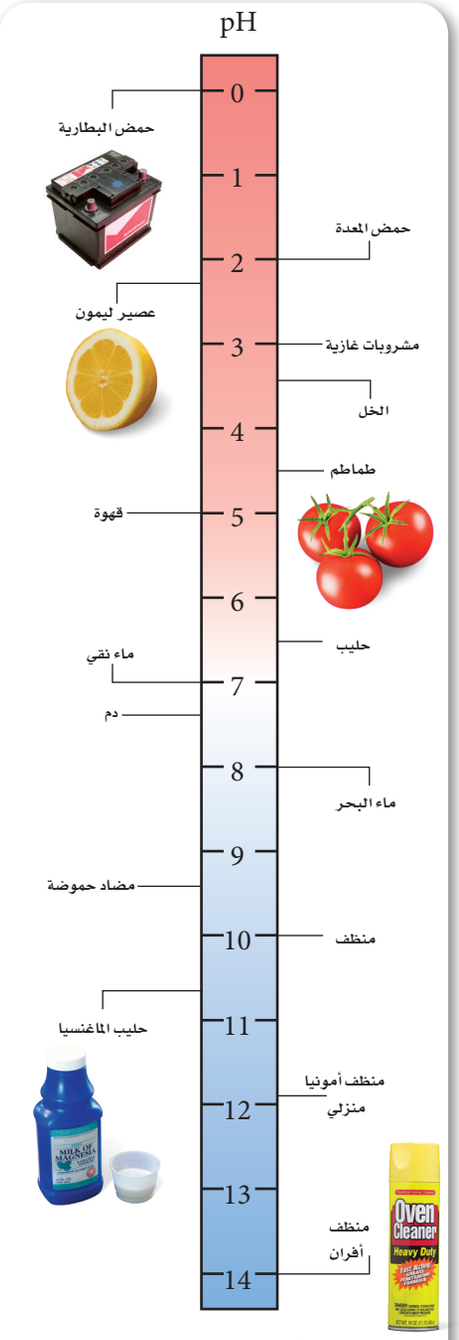
ما العلاقة بين pH و pOH؟

pH **تمثل** $-\log [H^+]$

pOH **تمثل** $-\log [OH^-]$

$$pH + pOH = 14.00$$

مجموع pH و pOH يساوي 14.00 .



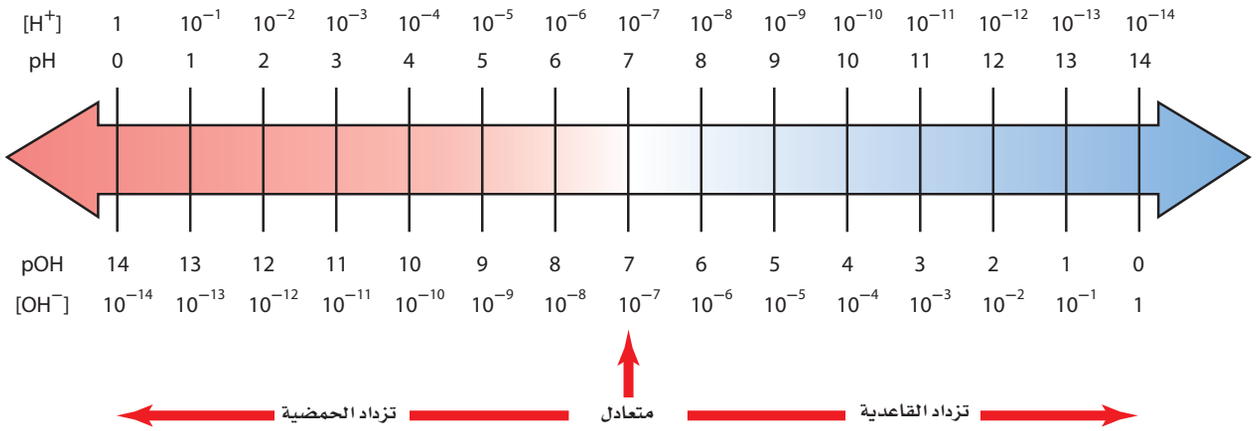
الشكل **14-2** قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

حدّد أيهما يحتوي على أعلى تركيز لأيونات H^+: ماء البحر أم المنظف المنزلي؟ كم مرة يزيد تركيز أحدهما على الآخر؟

الربط بالصحة يُعدُّ تناول الكحول أو المخدرات من أهم الأسباب التي تؤدي إلى زيادة حموضة الدم؛ الذي يحدث بسبب عدم قدرة الجسم على إنتاج كميات كافية من الأنسولين؛ مما يسبب ارتفاع نسبة الكيتونات في الدم، وهي من المركبات الحامضية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

يوضح **الشكل 15–2** العلاقة بين pH وتركيز H^+، والعلاقة بين pOH وتركيز OH^- عند درجة حرارة 298 K.



الشكل **15-2** ادرس هذا الشكل لزيادة معلوماتك حول pH و pOH. لاحظ أنه عند كل موقع عمودي يكون مجموع pH (فوق السهم) وpOH (تحت السهم) مساويًا 14. لاحظ أيضًا أنه عند كل موقع يكون حاصل ضرب $[H^+]$ في $[OH^-]$ يساوي 10^{-14}.

مثال 2-2

احسب قيمة pH من $[H^+]$ ما قيمة pH لمحلول متعادل عند درجة حرارة 298 K؟

1 تحليل المسألة

في المحلول المتعادل عند درجة حرارة 298 K ، يكون $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}\ M$. ويتعين عليك أن تجد $-\log\ [H^+]$.

المعطيات

$[H^+] = 1.0 \times 10^{-7}\ M$

المطلوب

pH = ?

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

$$pH = -\log [H^+]$$

عوض $[H^+] = 1.0 \times 10^{-7} M$

$$pH = -\log (1.0 \times 10^{-7})$$

تكون قيمة pH للمحلول المتعادل عند درجة حرارة 298 K تساوي **7.00**

3 تقويم الإجابة

كان متوقعًا أن تكون قيمة pH تساوي 7.

مسائل تدريبية

23. احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

a. $[H^+] = 1.0 \times 10^{-2}\ M$ **b.** $[H^+] = 3.0 \times 10^{-6}\ M$

24. احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

a. $[H^+] = 0.0055\ M$ **b.** $[H^+] = 0.000084\ M$

25. تحفيز احسب قيمة pH لمحلول فيه $[OH^-]$ يساوي $8.2 \times 10^{-6}\ M$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-16** يستطيع المزارعون أن يزيدوا القيمة الغذائية للمواد النباتية ذات النوعية الرديئة. ومنها القش والتبن وغيرهما من بقايا المزروعات - بوضع تلك المواد في جو من غاز الأمونيا مدة ثلاثة أسابيع.

مثال 3-2

حساب pOH وpH من $[OH^-]$ يظهر الشكل **2-16** صورة بقرة تتغذى على قش عولج بمادة الأمونيا التي تعمل على زيادة البروتينات عند إضافتها إلى علف الحيوانات. وتستعمل الأمونيا كذلك منظفًا منزليًّا؛ وهو محلول مائي لغاز الأمونيا. وعادة ما يكون تركيز أيون الهيدروكسيد في المنظف $4.0 \times 10^{-3}\ M$. احسب pOH و pH للمنظف عند درجة حرارة 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت تركيز أيون الهيدروكسيد، وعليك حساب قيم pOH و pH . احسب أولاً قيمة pOH مستعملاً القانون، ثم احسب pH مستعملاً العلاقة $pH + pOH = 14.00$

المعطيات

$[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3}\ M$

المطلوب

$pOH = ?$

$pH = ?$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pOH

pOH $= -\log [OH^-]$

عوض $[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3}\ M$

pOH $= -\log (4.0 \times 10^{-3})$

pOH للمحلول هو **2.40**.

استعمل العلاقة بين pH و pOH لإيجاد قيمة pH

اكتب المعادلة التي تربط بين pH و pOH

pH $+ pOH = 14.00$

أوجد قيمة pH

pH $= 14.00 - pOH$

عوض $pOH = 2.40$

pH $= 14.00 - 2.40 =$ **11.60**

قيمة **pH** للمحلول هو **11.60**

3 تقويم الإجابة

قيمتا pH و pOH التي تم التوصل إليهما صحيحتان؛ لأن الأمونيا قاعدة، لذا فإن قيمة pOH الصغيرة وقيمة pH الكبيرة معقولتان.

مسائل تدريبية

26. احسب قيم pH و pOH للمحاليل المائية ذات التراكيز الآتية عند درجة حرارة 298 K .

a. $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-6}\ M$

b. $[OH^-] = 6.5 \times 10^{-4}\ M$

c. $[H^+] = 3.6 \times 10^{-9}\ M$

d. $[H^+] = 2.5 \times 10^{-2}\ M$

27. احسب قيم pH و pOH للمحلولين المائيين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

a. $[OH^-] = 0.000033\ M$

b. $[H^+] = 0.0095\ M$

28. تحفيز احسب قيم pH و pOH لمحلول مائي يحتوي على 1.0×10^{-3} mol من HCl مذاب في 5.0 L من المحلول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

حساب تركيز الأيونات من قيم pH قد تحتاج أحيانًا إلى حساب تركيز أيونات H^+ و OH^- من خلال معرفة قيمة pH للمحلول. والمثال **4–2** يبين كيفية حسابها.

مثال 4-2

حساب $[H^+]$ و $[OH^-]$ من pH ما قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$ في دم الشخص السليم الذي قيمة PH له = 7.40، مع افتراض أن درجة حرارة الدم هي 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت قيمة pH لمحلول ما، وعليك أن تحسب قيم $[H^+]$ و $[OH^-]$. يمكنك إيجاد $[H^+]$ باستعمال معادلة pH، ثم اطرح pH من 14.00 للحصول على قيمة pOH، ثم استعمل المعادلة التي تعرّف pOH لإيجاد $[OH^-]$.

المعطيات

$pH = 7.40$

المطلوب

$[H^+] = ?\ mol/L$

$[OH^-] = ?\ mol/L$

2 حساب المطلوب

لإيجاد قيمة $[H^+]$

اكتب معادلة pH

$$pH = -\log [H^+]$$

$$-pH = \log [H^+]$$

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

عوّض $pH = 7.40$

$$[H^+] = 10^{-7.40}$$

$$[H^+] = 4.0 \times 10^{-8} M$$

تركيز أيونات H^+ في الدم $4.0 \times 10^{-8} M$.

أوجد قيمة: $[OH^-]$.

اكتب المعادلة التي تبين العلاقة بين pH و pOH

$$pH + pOH = 14.00$$

أوجد قيمة: pOH

$$pOH = 14.00 - pH$$

عوّض $pH = 7.40$

$$pOH = 14.00 - 7.40 = 6.60$$

اكتب معادلة: pOH

$$pOH = -\log [OH^-]$$

اضرب طرفي المعادلة في -1

$$-pOH = \log [OH^-]$$

$$[OH^-] = 10^{-6.60}$$

$$[OH^-] = 2.5 \times 10^{-7} M$$

تركيز أيونات OH^- في الدم $2.5 \times 10^{-7} M$.

3 تقويم الإجابة

وجد أن قيمة $[H^+]$ أقل من 10^{-7} وأن قيمة $[OH^-]$ أكبر من 10^{-7}، وهما إجابتان مقبولتان.

مسائل تدريبية

29. احسب $[H^+]$ و $[OH^-]$ في كل من المحاليل الآتية:

a . الحليب، $pH = 6.50$

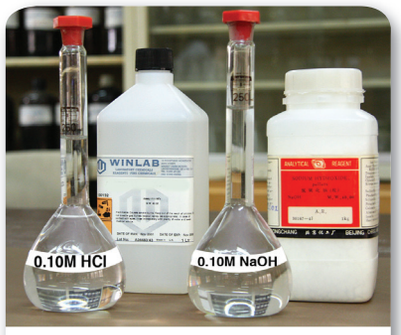
b . عصير الليمون، $pH = 2.37$

c . حليب الماغنسيا، $pH = 10.50$

d . الأمونيا المنزلية، $pH = 11.90$

30. تحفيز احسب $[H^+]$ و $[OH^-]$ في عينة من ماء البحر، حيث $pOH = 5.60$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **17-2** يرشدك الملصق على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية إلى تركيز أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويعود السبب في ذلك إلى وجود الأحماض والقواعد القوية كليًّا على شكل أيونات عند إذابتها في الماء.

حدد $[H^+]$ في دورق HCl و $[OH^-]$ في دورق NaOH.

المولارية والرقم الهيدروجيني pH للأحماض القوية تأمل الدورقين اللذين يحتويان على محلولي الحمض والقاعدة في **الشكل 17–2**؛ حيث تم تحضيرهما حديثًا، وسُجلت مولارية كل منهما، وهي عدد المولات من الجزيئات أو وحدات الصيغ التي أذيبت في لتر واحد من المحلول. يحتوي أحد الدورقين على حمض قوي HCl، ويحتوي الثاني على قاعدة قوية NaOH. تذكّر أن الأحماض والقواعد القوية توجد بتركيز 100% في صورة أيونات في المحلول. وهذا يعني أن التفاعل الآتي لتأين HCl يستمر حتى اكتماله.

$$HCl_{(aq)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

ينتج كل جزيء HCl أيون H^+ واحدًا، مما يعني أن الدورق الذي كتب عليه 0.1 M من HCl يحتوي على 0.1 mol من H^+ لكل 1 L، و0.1 mol من أيونات Cl^- لكل L. وفي الأحماض القوية الأحادية البروتون جميعها يكون تركيز الحمض مساويًا لتركيز أيونات H^+ في المحلول. لذا يمكنك أن تجد قيمة pH من خلال معرفتك لمولارية الحمض.

المولارية والرقم الهيدروجيني pH للقواعد القوية وبطريقة مماثلة، يكون محلول القاعدة القوية NaOH ذو التركيز 0.1 M الظاهر في **الشكل 17–2** متأينًا كليًّا.

$$NaOH_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون OH^- واحدًا. وهكذا يساوي تركيز أيونات OH^- مولارية المحلول، 0.1 M.

قد تحتوي بعض القواعد القوية ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ على أيوني OH^- أو أكثر في كل وحدة صيغة. لذا يكون تركيز أيون OH^- في محلول $Ca(OH)_2$ ضعف مولارية المركب الأيوني. فمثلاً تركيز أيونات الهيدروكسيد في محلول $Ca(OH)_2$ تركيزه 7.5×10^{-4} M هو: $7.5 \times 10^{-4}\text{M} \times 2 = 1.5 \times 10^{-3}\text{M}$

إن الأحماض القوية والقواعد القوية تتأين كليًّا في المحاليل المائية المخففة، والأحماض والقواعد الضعيفة تتأين جزئيًّا فقط. لذا عليك أن تستعمل قيم K_a و K_b لتحديد تراكيز أيونات H^+ و OH^- في محاليل الأحماض والقواعد الضعيفة.

ماذا قرأت؟ اشرح لماذا لا تستطيع أن تحصل على H^+ مباشرة من مولارية محلول حمض ضعيف؟

حساب K_a من الرقم الهيدروجيني pH افترض أنك قمت بقياس قيمة pH لمحلول الحمض الضعيف HF الذي تركيزه 0.100 M فوجدته 3.20 فهل تكفي هذه المعلومات لحساب قيمة K_a للحمض HF؟

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

$$K_a = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$$

يمكنك أن تحسب $[H^+]$ من خلال معرفة قيمة pH. وتذكر أنه يجب أن يكون هناك تركيز مساوٍ من أيون F^- مقابل كل mol/L من أيون H^+. وهذا يعني أنك تعرف اثنين من المتغيرات في قانون K_a. فماذا عن المتغير الثالث [HF]؟ تركيز HF عند الاتزان يساوي التركيز الابتدائي للحمض (0.100 M) مطروحًا منه mol/L من HF التي تحللت، والتي تساوي $[H^+]$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 2-5

احسب K_a من pH يستعمل حمض الميثانويك (الفورميك) HCOOH لمعالجة عُصارة أشجار المطاط وتحويلها إلى مطاط طبيعي. فإذا كانت قيمة pH لمحلول حمض الميثانويك الذي تركيزه 0.100 M هي 2.38، فما قيمة K_a للحمض؟

1 تحليل المسألة

لديك pH محلول حمض الميثانويك، وهذا يمكّنك من حساب تركيز أيون الهيدروجين.

$$HCOOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCOO^-_{(aq)}$$

تدل المعادلة الكيميائية الموزونة على أن تركيز $HCOO^-$ يساوي تركيز H^+.

تركيز HCOOH غير المتأين هو الفرق بين التركيز الأولي للحمض و$[H^+]$.

المعطيات

$pH = 2.38$

تركيز المحلول $= 0.100\ M$

المطلوب

$K_a = ?$

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

$$pH = -\log [H^+]$$

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

عوّض $pH = 2.38$

$$[H^+] = 10^{-2.38}$$

$$[H^+] = 4.2 \times 10^{-3} M$$

$[HCOO^-] = [H^+] = 4.2 \times 10^{-3}\ M$

$[HCOOH]$ يساوي التركيز الأولي ناقص $[H^+]$

اطرح $[H^+]$ من $[HCOOH]$

$$[HCOOH] = 0.100\,M - 4.2 \times 10^{-3}\,M = 0.096\,M$$

اكتب قانون ثابت تأين الحمض.

$$K_a = \frac{[H^+][HCOO^-]}{[HCOOH]}$$

عوض عن $[H^+] = 4.2 \times 10^{-3}\ M$

$[HCOO^-] = 4.2 \times 10^{-3}\ M$, و$[HCOOH] = 0.096\ M$.

$$K_a = \frac{(4.2 \times 10^{-3})(4.2 \times 10^{-3})}{0.096} = \mathbf{1.8 \times 10^{-4}}$$

ثابت تأين الحمض HCOOH هو 1.8×10^{-4}

3 تقويم الإجابة قيمة K_a معقولة لحمض ضعيف.

مسائل تدريبية

31. احسب K_a للحمضين الآتيين:

a . محلول H_3AsO_4 تركيزه 0.220 M و $pH = 1.50$

b . محلول $HClO_2$ تركيزه 0.0400 M و $pH = 1.80$

32. احسب K_a للأحماض الآتية:

a . محلول حمض البنزويك C_6H_5COOH، تركيزه 0.00330 M و $pOH = 10.70$

b . محلول حمض السيانيك HCNO، تركيزه 0.100 M و $pOH = 11.00$

c . محلول حمض البيوتانويك C_3H_7COOH تركيزه 0.15 M و $pOH = 11.18$

33. تحفيز احسب K_a لمحلول حمض HX الذي تركيزه 0.0091 M، وله pOH يساوي 11.32، ثم استعمل **الجدول 4–2** لتحديد نوع الحمض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448





الشكل **2-18** يمكن الحصول على قيمة pH تقريبية للمحلول بوضع قطعة من ورق تباع الشمس الأحمر بالمحلول، ومقارنة لونها بمجموعة من الألوان المعيارية، كما هو مبين في الصورة a. أما مقياس الحموضة الرقمي والموضح في الصورة b فيستعمل هنا لقياس pH لمطر حمضي؛ إذ يعطي قياسًا أدق من استعمال ورق تباع الشمس.

قياس الرقم الهيدروجيني pH يعد ورق تبّاع الشمس الذي استعملته في التجربة الاستهلالية مثالاً على نوع من أوراق كاشف الحموضة؛ فكل هذه الأوراق معالجة بمادة أو أكثر تسمى الكواشف؛ حيث يتغير لونها اعتمادًا على تركيز أيونات الهيدروجين في المحلول. ويعد الفينولفثالين الذي استعملته في التجربة الاستهلالية أيضًا نوعًا من الكواشف. وعند غمس ورقة كاشف pH في محلول حمضي أو قاعدي يتغير لونها، ثم نقوم بمقارنة اللون الجديد للورقة بألوان كاشف pH المعياري الموجود على ورقة مدرّجة، كما هو مبين في **الشكل 18–2**. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في **الشكل 18–2** قيمة الرقم الهيدروجيني بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

التقويم 2-3

الخلاصة

- ثابت تأين الماء K_w يساوي حاصل ضرب تركيز أيون H^+ وتركيز أيون OH^-
- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. وpOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد. ومجموع pH و pOH يساوي 14.
- قيمة pH للمحلول المتعادل تساوي 7.0، وقيمة pOH في المحلول نفسه تساوي 7.0؛ لأن تركيز أيونات الهيدروجين يساوي تركيز أيونات الهيدروكسيد.

34. الفكرة الرئيسة اشرح لماذا تكون قيمة pH للمحلول الحمضي دائمًا أصغر من قيمة pOH للمحلول نفسه؟

35. صف كيف يمكنك تحديد قيمة pH لمحلول ما إذا علمت قيمة pOH للمحلول نفسه؟

36. اشرح معنى K_w في المحاليل المائية.

37. اشرح –مستعملاً مبدأ لوتشاتلييه – ما يحدث لـ $[H^+]$ في محلول حمض الإيثانويك الذي تركيزه 0.10M عند إضافة قطرة من محلول NaOH .

38. اكتب قائمة بالمعلومات اللازمة لحساب قيمة K_a لحمض ضعيف.

39. احسب إذا علمت أن قيمة pH لحبة طماطم تساوي 4.50 تقريبًا، فما $[H^+]$ و $[OH^-]$ فيها؟

40. حدد قيمة pH لمحلول يحتوي على 1.0×10^{-9} mol من أيونات OH^- لكل L.

41. احسب قيمة pH في المحاليل الآتية:

a. 1.0 M HI

b. 0.050 M HNO_3

c. 1.0 M KOH

d. 2.4×10^{-5} M $Mg(OH)_2$

42. تفسير الرسوم ارجع إلى **الشكل 13–2** للإجابة عن السؤالين الآتيين: ماذا يحدث لكل من $[H^+]$ و $[OH^-]$ و pH و pOH عندما يصبح المحلول المتعادل أكثر حمضية؟ وماذا يحدث عندما يصبح المحلول المتعادل أكثر قاعدية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–4

التعادل Neutralization

الأهداف

- **تكتب** معادلات كيميائية لتفاعلات التعادل.
- **تشرح** كيفية استعمال تفاعلات التعادل في معايرة الأحماض والقواعد.
- **تقارن** بين خواص المحاليل المنظمة والمحاليل غير المنظمة.

مراجعة المفردات

الحسابات الكيميائية: دراسة العلاقات الكميّة بين كميات المواد المتفاعلة المستهلكة والنواتج المتكونة في التفاعل الكيميائي؛ بالاعتماد على قانون حفظ الكتلة.

المفردات الجديدة

تفاعل التعادل

الملح

المعايرة

المحلول القياسي

نقطة التكافؤ

كاشف الحمض والقاعدة

نقطة النهاية

تميّه الأملاح

المحلول المنظم

سعة المحلول المنظم

الفكرة الرئيسة **يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل لينتجا ملحًا وماء.**

الربط مع الحياة عندما يقدّم فريقان متناظران حُجَجًا مقنعة تجد نفسك متحيرًا بين الرأيين، لذا يكون رأيك محايدًا أو متعادلاً؛ إذ تتساوى وجهتا النظر عندك. وبطريقة مماثلة يكون المحلول متعادلاً عندما تتساوى أعداد أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحلول.

التفاعلات بين الأحماض والقواعد
Reactions Between Acids and Bases

هل أحسست يومًا بسوء هضم أو حرقة في فم المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كالتي تظهر في **الشكل 19–2** لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد الماغنسيوم $Mg(OH)_2$ –وهو المركب النشط في حليب الماغنسيا– محلولَ حمض الهيدروكلوريك (HCl) الذي تنتجه المعدة؟

عندما يتفاعل $Mg(OH)_2$ مع حمض HCl يحدث تفاعل تعادل. و**تفاعل التعادل** تفاعل محلول حمض مع محلول قاعدة ينتج ملحًا وماءً. و**الملح** مركب أيوني يتكون من أيون موجب من قاعدة وأيون سالب من حمض، لذا يكون تفاعل التعادل إحلالاً مزدوجًا.

كتابة معادلات التعادل في التفاعل بين هيدروكسيد الماغنسيوم وحمض الهيدروكلوريك يحل الماغنسيوم محل الهيدروجين في HCl، ويحل الهيدروجين محل الماغنسيوم في $Mg(OH)_2$.

$$Mg(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

ماء + ملح → حمض + قاعدة

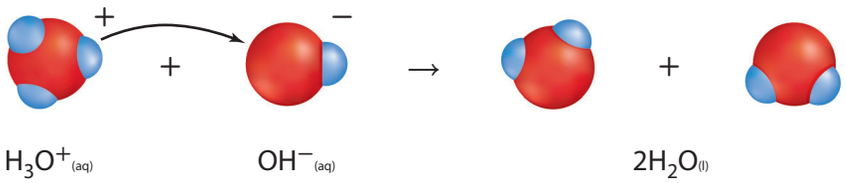
لاحظ أن الأيون الموجب من القاعدة يتحد بالأيون السالب من الحمض Cl^- في الملح $MgCl_2$. وعند كتابة معادلات التعادل عليك أن تعرف ما إذا كانت جميع المواد المتفاعلة والنواتج في المحلول تكون في صورة جزيئات أو وحدات صيغ. تفحص مثلاً معادلة الصيغ والمعادلة الأيونية الكاملة للتفاعل بين حمض الهيدروكلوريك وهيدروكسيد الصوديوم الآتية:

$$HCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$



الشكل **19-2** يمكن لأي جرعة من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-20** ينتقل أيون الهيدروجين من أيـون الهيدرونيوم إلى أيون الهيدروكسـيد. وعندمـا يخسـر H_3O^+ أيـون هيدروجـين يصبـح جزيء مـاء. وعندما يكسـب OH^- أيـون هيدروجين يصبح أيضًـا جزيء ماء.

لأن HCl حمض قوي، و NaOH قاعدة قوية، و NaCl ملح قابل للذوبان، لذا تكون المركبات الثلاثة في صورة أيونات في المحلول المائي.

$$H^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

تظهر أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد على جانبي المعادلة، لذا تسمى أيونات متفرجة؛ أي لا تدخل في التفاعل، ويمكن حذفها للحصول على المعادلة الأيونية النهائية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

لاحظ تفاعل التعادل في **الشكل 20–2**.

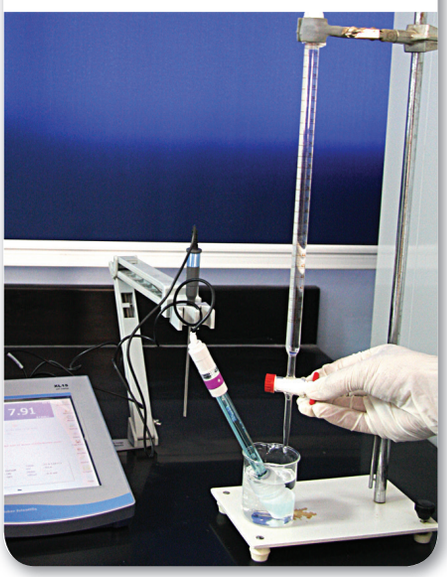
مـاذا قـرأت؟ اكتـب المعادلــة الأيونيةالكاملــة، والمعادلة الأيونية النهائية لتعادل حمض HNO_3 مع القاعدة KOH.

معايرة الأحماض والقواعد تتشابه الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول.ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي ,نجد أن 1mol من $Mg(OH)_2$ يعادل 2mol من HCl

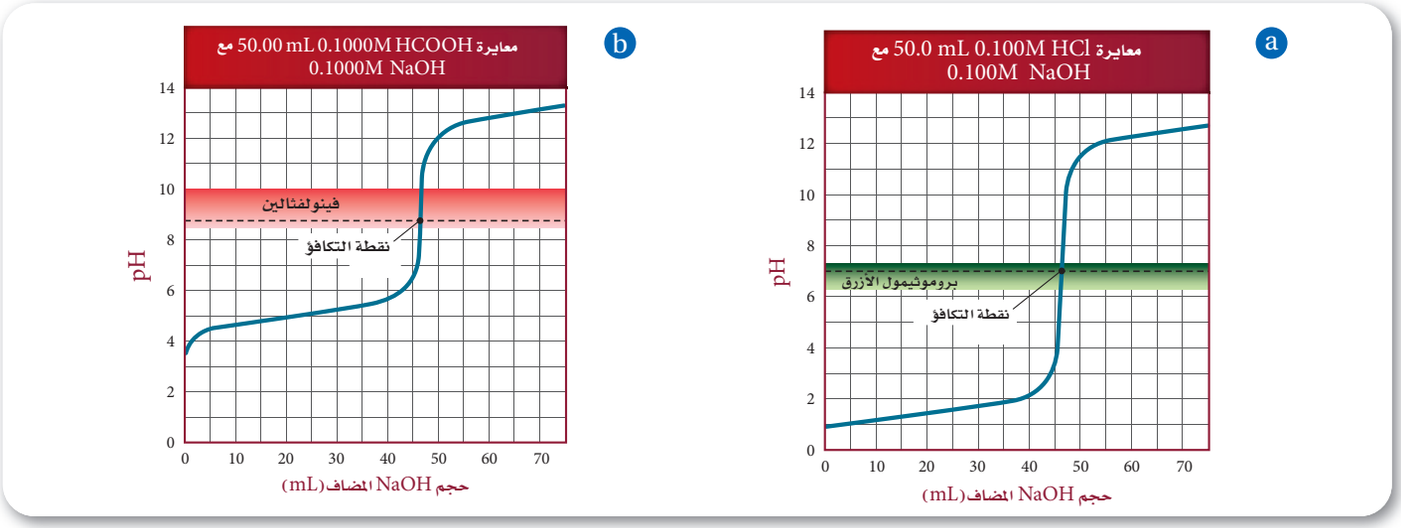
$$Mg(OH)_{2(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow MgCl_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، والتي تستعمل لتحديد تراكيز المحاليل الحمضية والقاعدية. **فالمعايرة** طريقة لتحديد تركيز محلول ما؛ وذلك بتفاعل حجم معلوم منه مع محلول تركيزه معلوم. فإذا أردت إيجاد تركيز محلول حمضي فسوف تعايره مع محلول قاعدي تركيزه معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ يبين **الشكل 21–2** نوعًا من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس pH لمراقبة التغيّر في قيم pH في أثناء عملية المعايرة.

الشكل **2-21** عند معايرة حمض مع قاعدة يستعمل مقياس pH لقياس pH للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قاعدي معروف التركيز بالسّحاحة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



خطوات المعايرة كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟

1. يوضع حجم معين من المحلول الحمضي أو القاعدي غير المعروف التركيز في كأس زجاجية، ثم تغمس أقطاب مقياس pH في هذا المحلول، وتقرأ قيمتها الابتدائية للمحلول وتسجل.
2. تُملأ السحاحة بمحلول المعايرة المعلوم تركيزه. يسمى هذا المحلول **المحلول القياسي**.
3. تضاف قطرتين من كاشف مناسب ثم تضاف أحجام معلومة من المحلول القياسي ببطء إلى المحلول الموجود في الكأس وتخلط معه. ثم تقرأ قيمة pH وتسجل بعد كل إضافة. تستمر هذه العملية إلى أن يصل التفاعل إلى **نقطة التكافؤ**. وهي نقطة يتساوى عندها عدد مولات H^+ من الحمض مع عدد مولات OH^- من القاعدة.

يبين **الشكل 22a–2** كيف تتغير قيمة pH للمحلول في أثناء معايرة 50.0 mL HCl الذي تركيزه 0.100 M، وهو حمض قوي، مع القاعدة القوية NaOH ذات التركيز 0.100 M؛ حيث كانت قيمة pH الأولية لـ HCl تساوي 1.00. وفي أثناء إضافة NaOH يتعادل الحمض، وتزداد قيمة pH المحلول تدريجيًّا. إلاّ أنه عندما تُستهلك أيونات H^+ جميعها تزداد قيمة pH على نحو كبير عند إضافة حجم صغير جدًّا من NaOH. وتحدث هذه الزيادة الحادة في قيمة pH عند نقطة تكافؤ المعايرة. إن إضافة المزيد من NaOH بعد نقطة التكافؤ ينجم عنه زيادة تدريجية مرة أخرى في pH.

لعلك تعتقد أنه يجب أن تكون نقطة التكافؤ في عمليات المعايرة جميعها عندما تكون قيمة pH تساوي 7؛ لأنه عند هذه النقطة تتساوى تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد، فيصبح المحلول متعادلاً. ولكن هذا غير صحيح، فبعض المعايرات لها نقاط تكافؤ عند قيم pH أقل من 7، وبعضها له نقاط تكافؤ أكبر من 7. وتحدث هذه الاختلافات لأن هناك تفاعلات بين الأملاح التي تكونت والماء، كما ستتعلم ذلك لاحقًا.

يبين **الشكل 22b–2** أن نقطة التكافؤ في معايرة حمض الميثانويك ـ وهو حمض ضعيف ـ بهيدروكسيد الصوديوم ـ وهي قاعدة قوية ـ تقع بين pH 8 و 9.

اختبار الرسم البياني **حدد** اختلافين بين الرسمين البيانيين في **الشكل 22–2**.

الشكل 22-2 يدل الارتفاع الحاد في قيمة pH للمحلول الحمضي عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية. كما هو مبين في الشكل **a**. على أن جميع أيونات H^+ في الحمض قد تمت معادلتها بواسطة أيونات OH^- من القاعدة. وتسمى النقطة التي ينثني عندها المنحنى عند تقاطعه مع الخط المنقط، نقطة التكافؤ للمعايرة. فيغير الكاشف بروموثيمول الأزرق لونه عند هذه النقطة. أما في الشكل b فتتم معايرة حمض ضعيف HCOOH بقاعدة قوية NaOH ولا تظهر نقطة التكافؤ عند $pH = 7$، فيغير الكاشف فينولفثالين لونه عند نقطة التكافؤ الموضحة في الشكل.

قارن بين نقطتي التكافؤ في الرسمين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل **2-23** يصبح لون الشاي الأحمر فاتحًا عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي على مادة كيميائية تعد من الكواشف. ومعظم الكواشف جزيئات كبيرة تعمل بوصفها أحماضًا ضعيفة. ويعود السبب في تغير ألوان الكواشف إلى اختلافات يسيرة في أنماط الروابط عندما يتأين جزيء الكاشف أو لا يتأين.

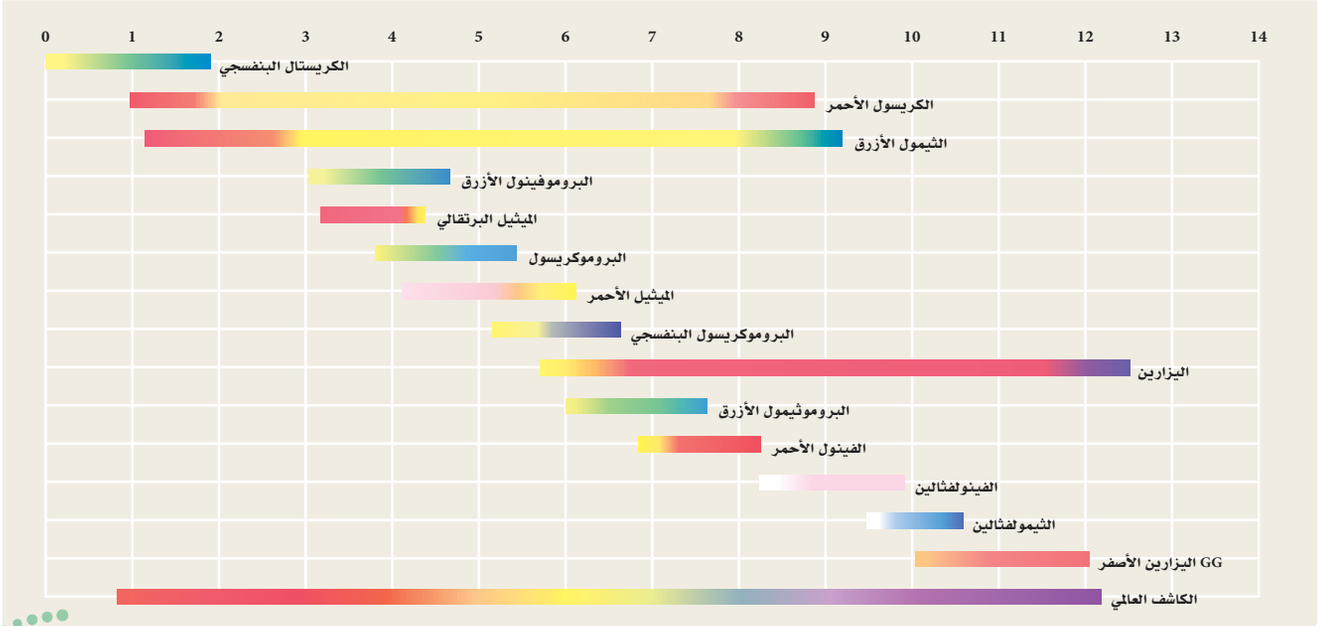
كواشف الأحماض والقواعد غالبًا ما يستعمل الكيميائيون أصباغًا كيميائية بدلاً من مقياس pH لتحري نقطة التكافؤ عند معايرة حمض وقاعدة. وتسمى الأصباغ الكيميائية التي تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية **كواشف الأحماض والقواعد**. وهناك العديد من المواد الطبيعية التي تعمل عمل الكواشف، فإذا أضفت عصير الليمون إلى الشاي فسوف تلاحظ أن اللون الأحمر للشاي أصبح فاتحًا، كما في **الشكل 2-23**؛ إذ يحتوي الشاي على مواد تسمى بوليفينولات polyphenols، تحتوي على ذرات متأينة جزئيًّا من الهيدروجين، لذا فهي أحماض ضعيفة. وعند إضافة الحمض الموجود في عصير الليمون إلى كوب شاي يقل تأين الحمض في الشاي بحسب مبدأ لوتشاتلييه، فيصبح لون البوليفينولات غير المتأينة أكثر وضوحًا، ويظهر **الشكل 2-24** العديد من الكواشف التي يستعملها الكيميائيون. إن أزرق بروموثيمول كاشف مناسب عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية. أما الفينولفثالين فيغير لونه عند نقطة التكافؤ عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، كما هو مبين في **الشكل b 22-2**.

تجربة عملية

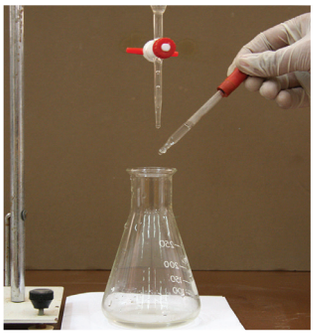
الأحماض والقواعد والتعادل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشكل **2-24** إن عملية اختيار الكاشف الصحيح مهمة جدًّا؛ إذ يجب أن يغير الكاشف لونه عند نقطة التكافؤ التي لا تكون دائمًا عند pH = 7.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



تحتوي السحاحة على المحلول القياسي 0.1 M NaOH ويحتوي الدورق المخروطي على 25.00 mL من محلول HCOOH مع قطرات من كاشف الفينولفثالين.



يضاف المحلول القياسي ببطء إلى محلول الحمض. ويتحول الفينولفثالين إلى اللون الوردي، ولكن يختفي اللون عند تحريك المحلول إلى أن يصل إلى نقطة النهاية.



تكون نقطة نهاية المعايرة عندما يصبح اللون ورديًا فاتحًا. تبين القراءة الدقيقة للسحاحة أن 18.28 mL NaOH الذي تركيزه 0.1000 M قد تمت إضافته.

الكواشف ونقطة نهاية المعايرة يعد الكثير من الكواشف المستعملة في المعايرة أحماضًا ضعيفة، لكل منها قيمة pH خاصة به، أو مدى pH يتغير لونه بعده. وتسمى النقطة التي يتغير لون الكاشف عندها **نقطة نهاية** المعايرة. أما نقطة التكافؤ فهي النقطة التي يتساوى عندها عدد مولات الحمض مع عدد مولات القاعدة، وتسمى نقطة التكافؤ بنقطة التعادل في حالة تفاعل الأحماض والقواعد القوية. لذا من المهم اختيار كاشف للمعايرة يغير لونه عند نقطة تكافؤ المعايرة الصحيحة. تذكر أن دور الكاشف أن يبين لك بدقة – عن طريق تغير لونه – أنه قد تمت إضافة كمية كافية من المحلول القياسي لتعادل المحلول المجهول. يصف **الشكل 25–2** طريقة معايرة محلول مجهول التركيز من حمض الميثانويك HCOOH مع محلول NaOH تركيزه 0.1000 M.

الشكل **25-2** المعايرة طريقة دقيقة تحتاج إلى تدريب وممارسة. تعمل الورقة البيضاء الموضوعة تحت الدورق على توفير خلفية مناسبة تساعد على رؤية التغير في لون الكاشف.

استراتيجية حل المسائل

حساب المولارية

تعد المعادلة الموزونة لتفاعلات المعايرة المفتاح الرئيس لحساب المولارية المجهولة. فمثلاً تتم معايرة حمض الكبريتيك بهيدروكسيد الصوديوم وفق المعادلة الآتية:

$$H_2SO_{4(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow Na_2SO_{4(aq)} + 2H_2O_{(l)}$$

1. احسب عدد مولات NaOH في المحلول المعياري من بيانات المعايرة:

M_B : مولارية القاعدة؛ V_B : حجم القاعدة.

$M_B V_B = (mol/L)(L) = mol\ NaOH$ في المحلول القياسي

2. تستطيع أن تعرف من المعادلة أن نسبة مولات NaOH إلى H_2SO_4 هي 1:2، أي أنه يتطلب 2 mol NaOH لتعادل 1 mol H_2SO_4

$$mol\ H_2SO_4 = mol\ NaOH \times \frac{1\ mol\ H_2SO_4}{2\ mol\ NaOH}$$

3. تمثل M_A مولارية الحمض، بينما تمثل V_A حجم الحمض L.

$$M_A = \frac{mol\ H_2SO_4}{V_A}$$

طبق هذه الاستراتيجية عند دراستك للمثال 6–2 في الصفحة الآتية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 6-2

حساب المولارية من بيانات المعايرة نحتاج إلى محلول قياسي حجمه 18.28 mL من NaOH، وتركيزه 0.1000 M للتعادل مع 25.00 mL من محلول حمض الميثانويك HCOOH. احسب مولارية محلول حمض الميثانويك.

1 تحليل المسألة

لديك مولارية محلول NaOH وحجمه، ولديك كذلك حجم محلول حمض الميثانويك HCOOH.
حجم القاعدة المستعمله يساوي أربعة أخماس حجم الحمض تقريبًا. إذن تكون مولارية الحمض أقل من 0.1 M.

المعطيات

$V_A = 25.00\ mL\ HCOOH$
$V_B = 18.28\ mL\ NaOH$
$M_B = 0.1000 M$

المطلوب

$M_A = ?\ mol/L$

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة لتفاعل التعادل.

$$HCOOH_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow HCOONa_{(aq)} + H_2O_{(l)}$$

اكتب النسبة المولية للحمض والقاعدة.

1 mol NaOH تعادل 1 mol HCOOH

حوّل حجم القاعدة من mL إلى L.

$$V_B = 18.28\ mL \times \frac{1\ L}{1000\ mL} = 0.01828\ L$$

لحساب عدد مولات NaOH.

طبّق العلاقة بين مولات القاعدة، ومولارية القاعدة، وحجم القاعدة.

$$Mol\ NaOH = M_B V_B$$

عوض $M_B = 0.1000\ M$ و $V_B = 0.01828\ L$

$$Mol\ NaOH = (0.1000\ mol/L)(0.01828\ L)$$
$$= 1.828 \times 10^{-3}\ mol\ NaOH$$

لحساب مولات HCCOH.

طبق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

$$1.828 \times 10^{-3}\ mol\ NaOH \times \frac{1\ mol\ HCOOH}{1\ mol\ NaOH}$$
$$= 1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH$$

لحساب مولارية HCOOH

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولارية الحمض، وحجم الحمض.

$$1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH = M_A V_A$$
$$M_A = \frac{1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH}{V_A}$$

أوجد قيمة M_A.

حول حجم الحمض من mL إلى L

$$V_A = 25.00\ mL \times \frac{1\ L}{1000\ mL} = 0.02500\ L\ HCOOH$$

عوّض $V_A = 0.02500\ L$.

$$M_A = \frac{1.828 \times 10^{-3}\ mol\ HCOOH}{0.02500\ L\ HCOOH} = \mathbf{7.312 \times 10^{-2}\ mol/L}$$

3 تقويم الإجابة

تتفق الإجابة مع توقع أن تكون مولارية HCOOH أقل من 0.1 M، كما أن الوحدة مناسبة.

مسائل تدريبية

43. ما مولارية محلول حمض النيتريك إذا لزم 43.33 mL KOH تركيزه 0.1000 M لمعادلة 20.00 mL من محلول حمض النيتريك؟

44. ما تركيز محلول الأمونيا المستعمل في مواد التنظيف المنزلي إذا لزم 49.90 mL HCl تركيزه 0.5900 M لمعادلة 25.00 mL من هذا المحلول؟

45. تحفيز كم mL من NaOH الذي تركيزه 0.500 M يمكن أن يتعادل مع 25.00 mL من H_3PO_4 تركيزه 0.100 M؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تميّه الأملاح Salt Hydrolysis

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق ـ انظر **الشكل 26–2** إلى محاليل مائية من أملاح كلوريد الأمونيوم NH_4Cl ونترات الصوديوم $NaNO_3$، وفلوريد البوتاسيوم KF تركيزها 0.10 M. وكما تلاحظ فقد غيّر محلول نترات الصوديوم لون الكاشف إلى اللون الأخضر، وهذا يعني أن المحلول متعادل. ويشير اللون الأزرق في محلول KF إلى أن المحلول قاعدي، بينما يدل اللون الأصفر لمحلول كلوريد الأمونيوم على أن المحلول حمضي. لماذا تكون بعض محاليل الأملاح متعادلة، وبعضها قاعدي وبعضها الآخر حمضي؟ يتفاعل الكثير من الأملاح مع الماء في عملية تعرف باسم **تميّه الأملاح**؛ حيث تستقبل الأيونات السالبة من الملح المتأين –في أثناء هذه العملية– أيونات الهيدروجين من الماء، أو تمنح الأيونات الموجبة من الملح المتفكك أيونات الهيدروجين للماء.

الأملاح التي تنتج محاليل قاعدية ينتج ملح فلوريد البوتاسيوم عن قاعدة قوية KOH وحمض ضعيف HF، ثم يتحلل هذا الملح إلى أيونات بوتاسيوم وأيونات فلوريد.

$$KF_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

لا تتفاعل أيونات K^+ مع الماء، وذلك بسبب تعادلها مع أيونات OH^- وتكون محلول قاعدي من KOH. ويعد أيون F^- قاعدة ضعيفة بحسب برونستد – لوري. لذا توجد بعض أيونات الفلوريد في حالة اتزان مع الماء، كما في التفاعل الآتي:

$$F^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HF_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

وهذا يعني أن المواد الناتجة تتكون من جزيئات فلوريد الهيدروجين وأيونات OH^- مما يجعل المحلول قاعديًّا.

الأملاح التي تنتج محاليل حمضية ينتج ملح NH_4Cl عن قاعدة ضعيفة NH_3 وحمض قوي HCl، وعند إذابته في الماء يتفكك الملح لينتج أيونات الأمونيوم وأيونات الكلوريد، كما في التفاعل الآتي:

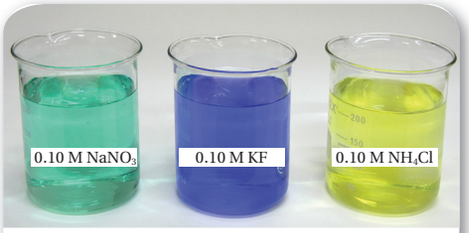
$$NH_4Cl_{(s)} \rightarrow NH_4{}^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

لا تتفاعل أيونات Cl^- مع الماء، وذلك بسبب تعادلها مع أيونات الهيدرونيوم وتكون محلول حمضي HCl. أما أيون $NH_4{}^+$ فهو حمض ضعيف بحسب برونستد – لوري. لذا تتفاعل أيونات الأمونيوم مع جزيئات الماء منتجة حالة الاتزان الآتية:

$$NH_4{}^+_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

ونتيجة لذلك تنتج جزيئات أمونيا وأيونات هيدرونيوم، مما يجعل المحلول حمضيًّا.

الأملاح التي تنتج محاليل متعادلة ينتج ملح نترات الصوديوم $NaNO_3$ عن حمض قوي HNO_3 وقاعدة قوية NaOH. لذلك قد يحدث تميّه بسيط جدًّا للملح، وقد لا يحدث تميّه أبدًا؛ لأن Na^+ و NO_3^- لا يتفاعلان مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.



الشكل **2-26** يعطي كاشف البروموثيمول الأزرق نتائج مدهشة عند إضافته إلى ثلاثة محاليل من الأملاح الأيونية. فمحلول NH_4Cl حمضي، ومحلول $NaNO_3$ متعادل، بينما محلول KF قاعدي. ويُعزى التفسير إلى قوى الأحماض والقواعد التي تكوّنت منها هذه الأملاح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مسائل تدريبية

46. اكتب معادلات لتفاعلات تميّه الأملاح التي تحدث عند إذابة الأملاح الآتية في الماء، وصنّف كلًّا منها إلى حمضي، أو قاعدي، أو متعادل:

a. نترات الأمونيوم **b.** كبريتات البوتاسيوم **c.** إيثانوات الروبيديوم **d.** كربونات الكالسيوم

47. تحفيز اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند معايرة هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH مع بروميد الهيدروجين HBr. وهل تكون قيمة pH عند نقطة التكافؤ أكبر أو أقل من 7؟

المحاليل المنظمة Buffered Solutions

من المهم جدًّا لقناديل البحر المبينة في **الشكل 27-2** أن تبقى قيم pH لمياه أحواض الأحياء المائية ضمن مدى صغير. وكذلك الأمر لجسم الإنسان؛ فمن المهم أيضًا بقاء قيمة pH ثابتة؛ حيث يجب أن يبقى pH للدم في الجسم ضمن مدى 7.1 إلى 7.7. وفي العصارة المعدية يجب أن يبقىpH بين 1.6 و 1.8 ليساعد على هضم أنواع معينة من الطعام. ويحافظ الجسم على pH ضمن حدود معينة من خلال إنتاج محاليل منظمة.

ما المحلول المنظم؟ **المحاليل المنظمة** محاليل تقاوم التغيرات في قيم pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد. فمثلاً عند إضافة 0.01 mol من HCl إلى 1L من الماء النقي ينخفض pH من 7.0 إلى 2.0. وكذلك فإن إضافة 0.01 mol من NaOH إلى 1 L من الماء النقي ترفع قيم pH من 7.0 إلى 12.0. ولكن عند إضافة الكمية نفسها من HCl أو NaOH إلى 1 L من محلول منظم فقد يتغير pH بما لا يزيد على 0.1 وحدة.

كيف تعمل المحاليل المنظمة؟ المحلول المنظم خليط من حمض ضعيف مع قاعدته المرافقة، أو قاعدة ضعيفة مع حمضها المرافق؛ حيث يعمل خليط الجزيئات والأيونات في المحلول المنظم على مقاومة تغيرات pH عن طريق التفاعل مع أي أيونات هيدروجين، أو أيونات هيدروكسيد تضاف إلى المحلول المنظم.

افترض مثلاً أن محلولاً منظمًا يحتوي على تراكيز 0.1 M من حمض الهيدروفلوريك HF وفلوريد الصوديوم NaF؛ حيث يعطيNaF أيونات F^- بتركيزM 0.1 والتي تعد القاعدة المرافقة لحمض HF، لذا يتحقق الاتزان الآتي:

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

إضافة حمض عند إضافة حمض إلى هذا المحلول المنظم فإن الاتزان يندفع إلى اليسار بحسب مبدأ لوتشاتلييه؛ لأن أيونات H^+ المضافة من الحمض تكون ضغطًا على الاتزان. وللتقليل من أثر هذا الضغط تتفاعل أيونات H^+ مع F^- لتكوين المزيد من جزيئات HF.

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

وبهذا يصل النظام إلى حالة الاتزان من جديد مع وجود كمية أكبر من HF غير المتفكك. ومع ذلك فإن pH المحلول قد تغير قليلاً فقط؛ لأن اتجاه الاتزان إلى اليسار استهلك معظم أيونات H^+ التي أضيفت.



الشكل **27-2** لكي تكون البيئة صحيّة لقناديل البحر، يجب أن تبقى قيمة pH للماء في أحواض الأحياء المائية بين 8.1 و 8.4.

تجربة عملية

تحديد النسبة المئوية لحمض الإيثانويك في الخل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

إضافة قاعدة عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم المكون من حمض الهيدروفلوريك وأيونات الفلوريد تتفاعل أيونات OH^- المضافة مع أيونات H^+ لتكون H_2O، وهذا يقلل من تركيز أيونات H^+، فيتجه الاتزان إلى اليمين للتعويض عن أيونات H^+.

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$$

مع أن اتجاه التفاعل إلى اليمين يقلل كمية HF ، وينتج المزيد من F^-، إلا أن pH يبقى ثابتًا تقريبًا؛ لأن تركيز أيون H^+ لم يتغير كثيرًا. إن قدرة المحلول المنظم على مقاومة تغير pH يتم تجاوزها في حالة إضافة كمية كبيرة من الحمض أو القاعدة. تسمى كمية الحمض أو القاعدة التي يستطيع المحلول المنظم أن يستوعبها دون تغير مهم في pH **سعة المحلول المنظم**. وكلما زادت تراكيز الجزيئات والأيونات المنظمة في المحلول زادت سعة المحلول المنظم.

اختيار المحلول المنظم يكون المحلول المنظم أكثر فاعلية عندما يساوي تركيز الحمض تركيز القاعدة المرافقة له، أو تكاد تكون متساوية. تأمل النظام المنظم المكون من $H_2PO_4^-$ و HPO_4^{2-} الناتج عن خلط كميتين مولاريتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4.

$$H_2PO_4^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_4^{2-}$$

ما قيمة pH لهذا المحلول؟

$$K_a = 6.2 \times 10^{-8} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]}$$

لأن المحلول مكون من كميتين مولاريتين متساويتين من NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4، فإن $[HPO_4^{2-}]$ يساوي $[H_2PO_4^-]$.

لذا فإن التركيزين يختزلان في تعبير ثابت تأين الحمض.

$$6.2 \times 10^{-8} = \frac{[H^+]\cancel{[HPO_4^{2-}]}}{\cancel{[H_2PO_4^-]}} = [H^+]$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log (6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$$

وهكذا، عندما توجد كميات مولارية متساوية في نظام $H_2PO_4^-$ / HPO_4^{2-} المنظم فإن النظام يستطيع أن يحافظ على pH قريبًا من 7.21. لاحظ أن $pH = -\log K_a$. يحتوي **الجدول 7-2** على قائمة من أنظمة منظمة عديدة مع pH عندما يكون كل منها أكثر فاعلية.

المفردات

الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع

منظم Buffer

الاستعمال العلمي: محلول يقاوم تغيرات pH عند إضافة كميات محدودة من حمض أو قاعدة.

قرر الكيميائي استعمال محلول منظم (Buffer) يتكون من كميتين مولاريتين متساويتين من حمض الميثانويك (الفورميك) وميثانوات (فورمات) الصوديوم.

الاستعمال الشائع: شيء يعمل حاجزًا واقيًا.

يعمل الجدار البحري العالي مصدًّا (Buffer) لحماية المنازل المبنيّة على الشاطئ من العواصف البحرية.

الجدول 7-2 المحاليل المنظمه والأزواج المترافقة

معادلات تأين المحاليل المنظمة	الأزواج المترافقة من الأحماض والقواعد في المحاليل المنظمة	قيمة pH
$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + F^-_{(aq)}$	HF/F^-	3.20
$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$	CH_3COOH/CH_3COO^-	4.76
$H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$	H_2CO_3/HCO_3^-	6.35
$H_2PO_4^-{}_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$	$H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}$	7.21
$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	NH_4^+/NH_3	9.4
$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$	$C_2H_5NH_3^+/C_2H_5NH_2$	10.70

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر حل المشكلات

تطبيق التفسيرات العلمية

كيف يحافظ الدم على قيمة pH ثابتة؟ يحتوي دم الإنسان على ثلاثة أنواع من الخلايا. الخلايا الحمراء التي تنقل الأكسجين إلى أجزاء الجسم كافة، والخلايا البيضاء التي تحارب العدوى، والصفائح الدموية التي تساعد على التجلط عند حدوث نزف. لذا تضعف الوظائف الحساسة لهذه الخلايا إذا لم يحافظ الدم على pH ضمن مدى ضيق بين 7.1 و 7.7. وفوق هذا المستوى تفقد البروتينات في الجسم تراكيبها ومقدرتها على أداء عملها. ولحسن الحظ فإن هناك عدة محاليل منظمة تحافظ على التوازن الضروري للأحماض والقواعد. وأهم هذه المحاليل المنظمة محلول حمض الكربونيك والكربونات الهيدروجينية H_2CO_3/HCO_3^-.

$$CO_{2(g)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

عندما تدخل الأحماض والقواعد مجرى الدم نتيجة النشاط العادي، تعدِّل أنظمة المحاليل المنظمة في الدم نفسها، حتى تحافظ بفاعلية على قيمة pH مناسبة.

التحليل

سيتغير موضع اتزان H_2CO_3/HCO_3^- بحسب مبدأ لوتشاتلييه اعتمادًا على معدل الأيض في الجسم وعوامل أخرى. وبالإضافة إلى ذلك تستطيع الرئتان أن تغيّر سرعة طرد CO_2 من الجسم عن طريق التنفس، وتستطيع الكليتان أن تغير سرعة إزالة أيونات HCO_3^-.

التفكير الناقد

1. **حدد** كم يزيد $[H^+]$ إذا تغير pH الدم من 7.4 إلى 7.1؟
2. **اقترح** سببًا يفسّر لماذا تعد نسبة 20:1 من HCO_3^- إلى CO_2 في الدم مناسبة للحفاظ على pH مناسب؟
3. **توقع** ما الوضع الذي يرتفع فيه pH الدم أو ينخفض؟ وفي أي اتجاه يميل اتزان H_2CO_3/HCO_3^- في كل من الحالات الآتية:

a. شخص لديه حالة فيروسية شديدة في المعدة يتقيأ عدة مرات في 24 ساعة.

b. شخص يأخذ كمية كبيرة من $NaHCO_3$ لوقاية حرقة فم المعدة.

التقويم 2-4

الخلاصة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز محلول.
- تحتوي المحاليل المنظمة على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.

48. الفكرة الرئيسة **فسّر** لماذا تكون المعادلة الأيونية النهائية لتفاعل تعادل أي حمض قوي مع أي قاعدة قوية دائمًا هي المعادلة نفسها؟
49. **اشرح** الفرق بين نقطة تكافؤ ونقطة نهاية المعايرة.
50. **قارن** بين نتائج تجربتين: الأولى إضافة كمية صغيرة من قاعدة إلى محلول غير منظم له pH= 7. والثانية عند إضافة الكمية نفسها من القاعدة إلى محلول منظم له pH = 7.
51. **احسب** مولارية محلول حمض الهيدروبروميك HBr إذا احتاج إلى 30.35 mL من NaOH تركيزه 0.1000 M لمعايرة 25.00 mL من الحمض حتى نقطة التكافؤ.
52. **فسّر** ما المواد التي يمكن استعمالها لعمل محلول منظم قيمة pH له 9.4؟ وما نسبتها؟ استعمل **الجدول 7–2**.
53. **صمم تجربة** صف كيف تصمم معايرة وتجريها باستعمال HNO_3 تركيزه 0.250 M لتحديد مولارية محلول هيدروكسيد السيزيوم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الكيمياء من واقع الحياة

تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز

هل رأيت تمثيلاً لثورة بركان باستعمال الخل وصودا الخبز؟ لقد نتجت فقاعات ثاني أكسيد الكربون CO_2 عن تفاعل التحلل الذي حدث بسرعة بعد تفاعل الخل $HC_2H_3O_2$، وهو حمض، وصودا الخبز $NaHCO_3$، وهي قاعدة، كما هو مبين أدناه.

تفاعل الحمض والقاعدة

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + NaHCO_{3(aq)} \rightarrow NaC_2H_3O_{2(aq)} + H_2CO_{3(aq)}$$

التفكك

$$H_2CO_{3(aq)} \rightarrow CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

إن إطلاق ثاني أكسيد الكربون نتيجة التفاعل الكيميائي بين الحمض والقاعدة ـ انظر **الشكل 1** ـ هو من أسباب انتفاخ الخبز والمعجنات. وتسمى المادة التي تؤدي إلى انتفاخ العجين عند خبزه عامل التخمير. والمادتان الكيميائيتان الرئيستان في التخمير هما صودا الخبز ومسحوق الخبز.

صودا الخبز Baking Soda كربونات الصوديوم الهيدروجينية، وتسمى أيضًا بيكربونات الصوديوم، وهو الاسم الكيميائي لصودا الخبز؛ حيث تتفاعل صودا الخبز عند استعمالها في الطبخ مع سوائل معتدلة الحمضية، فتتكون فقاعات ثاني أكسيد الكربون. وتشمل السوائل المعتدلة الحمضية الخل والعسل ودبس السكر وعصير الحمضيات ومخضوض اللبن وغيرها.



الشكل 1 تتكون فقاعات من غاز ثاني أكسيد الكربون عندما تضاف قاعدة صودا الخبز إلى حمض الخل.



الشكل **2** تحبس عملية الخبز الفقاعات المتكونة في أثناء التفاعل بين حمض وقاعدة، فتنتج كعكة خفيفة مليئة بالهواء.

يجب أن تخلط صودا الخبز بمكوّنات أخرى صلبة، وتضاف في النهاية إلى مخلوط العجين حتى يكون انطلاق ثاني أكسيد الكربون منتظمًا في كل أنحاء العجين، ويحدث تفاعل الحمض والقاعدة هذا بسرعة. إذا كانت صودا الخبز هي عامل التخمير الوحيد في الوصفة، وجب خبز العجين بسرعة وفورًا قبل أن تختفي الفقاعات الاختفاء. وتؤدي عملية الخبز إلى تمدد الفقاعات، فتنتفخ الكعكة. وعندما يتصلب العجين تحتجز الفقاعات، كما في **الشكل 2**.

مسحوق الخبز Baking Powder إذا لم تتضمن الوصفة سائلاً حمضيًّا فإن مسحوق الخبز يستعمل عوضًا عن ذلك. ومعظم مسحوق الخبز خليط من صودا الخبز وحمضين جافين.

وأحد هذين الحمضين يتفاعل مع الصودا عندما يذوب في العجين، ويتفاعل الثاني مع الصودا عند التسخين. ومثل صودا الخبز يخلط مسحوق الخبز بالمكونات الأخرى الجافة، ويضاف في النهاية إلى العجين. ولكن العجائن التي يستعمل فيها مسحوق الخبز ليس من الضروري أن تخبز فورًا.

تحتوي العجائن التي يستعمل فيها سوائل حمضية معتدلة على مسحوق الخبز وصودا الخبز معًا؛ حيث يستطيع الحمض الزائد أن يعطل عمل مسحوق الخبز. ويعد مسحوق الخبز مصدرًا موثوقًا لثاني أكسيد الكربون، وتساعد صودا الخبز على معادلة الحمض.

الكتابة في الكيمياء

حلل إذا تطلّبت وصفة استعمال الطحين والملح والسكر والنخالة والحليب والبيض والسمن أو الزيت النباتي، فهل تستعمل صودا الخبز أو مسحوق الخبز؟ فسّر إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر الكيمياء

معايرة القاعدة

الخلفية **المعايرة إجراء يمكن به تحديد مولارية القاعدة.**

سؤال كيف يمكنك تحديد مولارية محلول قاعدي؟

المواد والأدوات اللازمة

سحاحة سعتها 50 mL — هيدروكسيد الصوديوم NaOH

محلول فينولفثالين — ميزان حساس

قارورة غسل — حامل حلقة

فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$

حامل سحاحة — دورق مخروطي سعته 250 mL

كأس زجاجية سعتها 250 mL — دورق مخروطي سعته 500 mL

ماء مقطر — ملعقة

إجراءات السلامة



تحذير: ينتج عن إذابة NaOH في الماء حرارة، كما أن الفينولفثالين قابل للاشتعال، لذا أبعده عن اللهب.

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع 4 g NaOH تقريبًا في الدورق المخروطي الذي سعته 500 mL. ثم أذبها في كمية كافية من الماء، ثم أكمل حجم المحلول ليصبح 400 mL تقريبًا. ثم أغلق الدورق بالسدادة.
3. استعمل زجاجة الوزن لأخذ كتلة مقدارها 0.40 g تقريبًا من فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية $KHC_8H_4O_4$، الذي كتلته المولية = 204.32 g /mol)، وضعها في الدورق المخروطي الذي سعته 250 mL. ثم سجل هذه الكتلة.
4. استعمل قارورة الغسل لغسل الجزء الداخلي من الدورق، وأضف 50 mL تقريبًا من الماء، وقطرتين من محلول كاشف الفينولفثالين.
5. املأ السحاحة بمحلول NaOH، على أن يكون مستوى السائل عند علامة الصفر أو تحتها. للتخلص من أي هواء قد يكون عالقًا في السحّاحة مرّر كمية صغيرة من القاعدة إلى وعاء المهملات. لاحظ حجم المحلول في السحاحة حتى أقرب 0.02 mL ، وسجل هذه القراءة الأولية.
6. ضع قطعة ورق بيضاء على قاعدة حامل الحلقة. وحرك الدورق حركة دورانية في أثناء صب محلول NaOH ببطء من السحاحة إلى الدورق.

بيانات المعايرة	
	المحاولة 1
كتلة زجاجة الوزن+ الحمض	
كتلة زجاجة الوزن	
كتلة الحمض الصلب	
مولات الحمض	
مولات القاعدة المطلوبة	
القراءة النهائية للسحاحة	
القراءة الأولية للسحاحة	
حجم القاعدة المستعمل (mL)	
مولارية القاعدة	

7. عندما يبقى اللون الوردي فترة أطول بعد التحريك الدوراني للدورق أضف محلول القاعدة قطرة قطرة.
8. تكون نقطة النهاية حيث يتغير لون الحمض إلى اللون الوردي بعد إضافة قطرة قاعدة واحدة؛ ويبقى اللون الوردي بعدها ثابتًا.
9. أعد ملء السحاحة، واغسل الدورق بالماء. ثم أعد المعايرة حتى تحصل على قيم مولارية متقاربة لثلاث محاولات.
10. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من المحاليل المتعادلة في المصرف مع كمية وافرة من الماء.

التحليل والاستنتاج

1. **فسّر البيانات** في كل معايرة، احسب عدد مولات الحمض المستعمل بقسمة كتلة العينة على الكتلة المولية للحمض.
2. **استنتج** كم مولاً من القاعدة يتطلب التفاعل مع مولات الحمض المستخدمة؟
3. **احسب** حوّل حجم القاعدة إلى لترات.
4. **احسب** مولارية القاعدة بقسمة عدد مولات القاعدة على حجم القاعدة باللتر.
5. **تحليل الخطأ** هل اتفقت حساباتك للمولارية؟ فسّر أي اختلافات.

الاستقصاء

صمم تجربة احسب تركيز محلول حمض الإيثانويك (الخل) دون استعمال الكاشف.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يمكن تعريف الأحماض والقواعد باستعمال مفردات، منها أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد، أو أزواج الإلكترونات.

2-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تساعد النظريات المختلفة على وصف سلوك الأحماض والقواعد.

المفردات

- المحلول الحمضي
- المحلول القاعدي
- نظرية أرهينيوس
- نظرية برونستد – لوري
- الحمض المرافق
- القاعدة المرافقة
- الأزواج المترافقة
- مواد مترددة (أمفوتيرية)
- نظرية لويس

الأفكار الرئيسة

- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًّا، أم قاعديًّا، أم متعادلاً.
- يجب أن يحتوي حمض أرهينيوس على ذرة هيدروجين قابلة للتأين. ويجب أن تحتوي قاعدة أرهينيوس على مجموعة هيدروكسيد قابلة للتأين.
- حمض برونستد – لوري مادة مانحة لأيون هيدروجين، بينما قاعدة برونستد – لوري مادة مستقبلة لأيون هيدروجين.
- حمض لويس مادة تستقبل زوجًا من الإلكترونات، بينما قاعدة لويس مادة تعطي زوجًا من الإلكترونات.

2-2 قوة الأحماض والقواعد

الفكرة الرئيسة تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا كليًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.

المفردات

- الحمض القوي
- الحمض الضعيف
- ثابت تأين الحمض
- القاعدة القوية
- القاعدة الضعيفة
- ثابت تأين القاعدة

الأفكار الرئيسة

- تتأين الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

2-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

الفكرة الرئيسة يعبِّر كل من pH و pOH عن تركيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحاليل المائية.

المفردات

- ثابت تأين الماء K_w
- الرقم الهيدروجيني pH
- الرقم الهيدروكسيدي pOH

الأفكار الرئيسة

- ثابت تأين الماء K_w يساوي حاصل ضرب تركيز أيون H^+ وتركيز أيون OH^-.

$$K_w = [OH^-]\ [H^+]$$

- pH المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. pOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد.

ومجموع pH و pOH يساوي 14.

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$pH + pOH = 14.00$$

- قيمة pH للمحلول المتعادل تساوي 7.0، وقيمة pOH في المحلول نفسه تساوي 7.0؛ لأن تركيز أيونات الهيدروجين يساوي تركيز أيونات الهيدروكسيد.

2-4 التعادل

الفكرة الرئيسة يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التعادل وينتج ملح وماء.

المفردات

- تفاعل التعادل
- الملح
- المعايرة
- المحلول القياسي
- نقطة التكافؤ
- كاشف أحماض وقواعد
- نقطة النهاية
- مميّه الأملاح
- المحلول المنظم
- سعة المحلول المنظم

الأفكار الرئيسة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:

$$H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

- المعايرة عملية يستعمل فيها تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة لتحديد تركيز محلول.
- تحتوي المحاليل المنظمة على مخاليط من جزيئات وأيونات تقاوم التغيرات في pH.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

2-1

إتقان المفاهيم

54. قارن بين المحاليل الحمضيـــة والمتعادلة والقاعدية من حيث تركيز الأيونات.

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

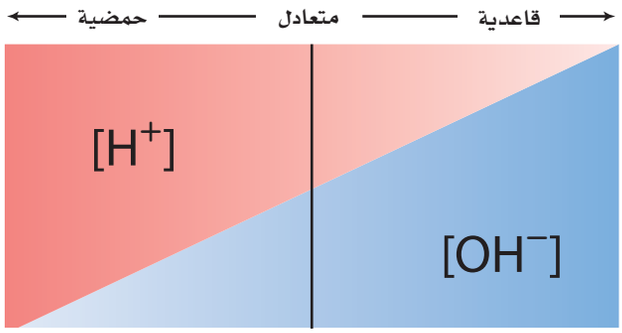
56. صنّف كلًّا مما يأتي إلى حمض أرهينيوس أو قاعدة أرهينيوس:

a. H_2S **c.** $Mg(OH)_2$

b. $RbOH$ **d.** H_3PO_4

57. علم الأرض تتكون فقاعات غاز عندما يضيف عالم الأرض بضع قطرات مـــن HCl إلى قطعة صخر. ماذا قد يســـتنتج العالم عن طبيعة الغاز والصخر؟

58. اشرح مـــا تعنيه المســـاحتان المظللتان عـــن اليمين من الخط العمودي الغامق في **الشكل 28–2**.



الشكل 28–2

59. اشرح الفـــرق بين الحمض الأحـــادي البروتون، والحمض الثنائـــي البروتون، والحمض الثلاثي البروتون، وأعط مثالاً على كل منها.

60. لماذا يمكن اســـتعمال H^+ و H_3O^+ بالتبـــادل في المعادلات الكيميائية؟

61. اســـتعمل الرمـــوز (< أو > أو =) للتعبير عن العلاقة بين تركيز أيونـــات H^+ وأيونـــات OH^- في المحاليل الحمضية والمتعادلة والقاعدية.

62. اشرح كيف يختلف تعريف حمض لويس عن تعريف حمض برونستد – لوري؟

إتقان حل المسائل

63. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل مما يأتي:

a. تحلل هيدروكسيد الماغنسيوم الصلب عند وضعه في الماء.

b. تفاعل فلز الماغنسيوم مع حمض الهيدروبروميك.

c. تأين حمـــض البروبانويـــك CH_3CH_2COOH في الماء.

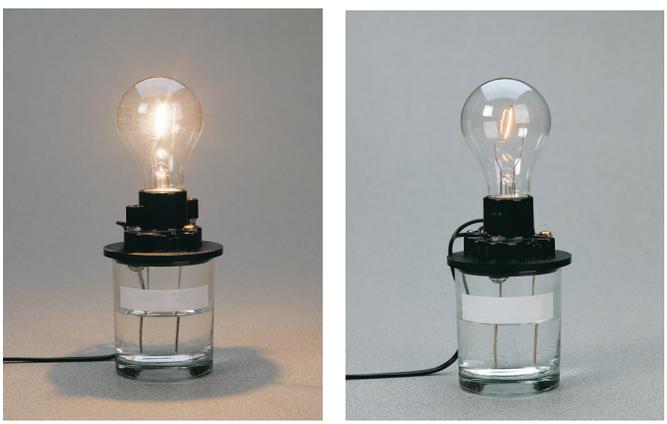
d. التأين الثاني لحمض الكبريتيك في الماء.

2-2

إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

65. اشرح لماذا تستعمل أســـهم الاتزان في معادلات تأين بعض الأحماض؟



الشكل 29–2

66. أيّ الكأســـين في **الشكل 29–2** قد تحتوي على محلول حمض الهيبوكلوروز بتركيز 0.1 M؟ وضح إجابتك.

67. كيف تقارن بين قوتي حمضين ضعيفين في المختبر؟ وكيف تقوم بذلك من خلال معلومات تحصل عليها من جدول أو كتيب؟

68. حدد الأزواج المترافقة في تفاعل H_3PO_4 مع الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 2

إتقان حل المسائل

69. منظفات الأمونيا اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_b لتأين الأمونيا في الماء. وكيف يستعمل محلول الأمونيا منظفًا آمنا للنوافذ مع أنه قاعدي؟

70. مطهّر حمض الهيبوكلوروز مطهر صناعي. اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_a لتأين حمض الهيبوكلوروز في الماء.

71. اكتب المعادلة الكيميائية وتعبير K_b لتأين الأنيلين في الماء. الأنيلين قاعدة ضعيفة صيغتها $C_6H_5NH_2$.

72. تتفاعل القاعدة الضعيفة ZaH_2 ، مع الماء لتعطي محلولاً تركيز أيون OH^- فيه 2.68×10^{-4} mol /L، والمعادلة الكيميائية للتفاعل هي:

$$ZaH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons ZaH_3{}^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

إذا كان $[ZaH_2]$ عند الاتزان 0.0997 mol /L ، فما قيمة K_b لـ ZaH_2؟

73. اختر حمضًا قويًّا، واشرح كيف تحضّر محلولاً مخففًا منه؟ ثم اختر حمضًا ضعيفًا، واشرح كيف تحضّر محلولاً مركزًا منه؟

2-3

إتقان المفاهيم

74. ما العلاقة بين pOH وتركيز أيون OH^- في محلول؟

75. قيمة pH للمحلول A تساوي 2.0 وللمحلول B تساوي 5.0. أي المحلولين أكثر حمضية بناءً على تركيزي أيون H^+ في المحلولين، وكم مرة تزيد الحمضية؟

76. إذا تناقص تركيز أيونات H^+ في محلول مائي، فماذا يجب أن يحدث لتركيز أيونات OH^- ؟ ولماذا؟

77. استعمل مبدأ لوتشاتلييه لتوضيح ما يحدث للاتزان $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$ عند إضافة بضع قطرات من HCl إلى ماء نقي.

إتقان حل المسائل

78. ما $[OH^-]$ في محلول مائي عند 298 K حيث $[H^+] = 5.40\ M \times 10^{-3}$؟

79. ما قيمة pH و pOH للمحلول المذكور في السؤال 78؟

80. لديك محلولان: 0.10 M HCl و 10. 0 M HF ، أيهما يكون تركيز أيونات H^+ فيه أعلى؟ احسب pH لكل من المحلولين إذا علمت أن $[H^+] = 7.9 \times 10^{-3}\ M$ في محلول HF.

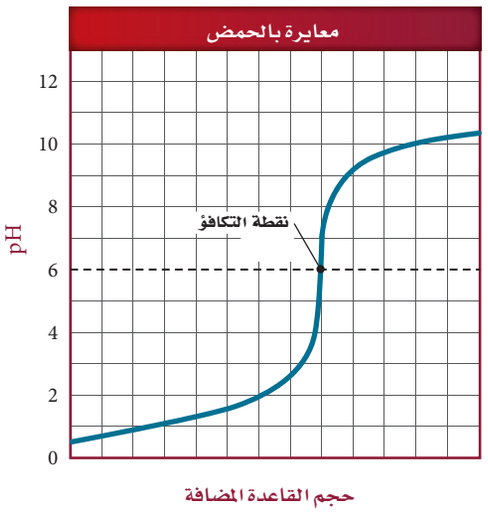
81. منظف الفلزات يستعمل حمض الكروميك منظفًا صناعيًّا للفلزات. احسب قيمة K_a للتأين الثاني لحمض الكروميك H_2CrO_4 إذا كان لديك محلول تركيزه 0.040 M من كرومات الصوديوم الهيدروجينية قيمة pH لها 3.946؟

2-4

إتقان المفاهيم

82. ما الحمض والقاعدة اللذان يجب أن يتفاعلا لينتجا محلولاً مائيًّا من يوديد الصوديوم؟

83. ما كواشف الأحماض والقواعد المبينة في **الشكل 24–2**، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحنى معايرته في **الشكل 30–2**؟ ولماذا؟



الشكل 30–2

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 2

84. متى يكون استعمال pH أفضل من الكاشف لتحديد نقطة النهاية لمعايرة حمض وقاعدة؟

85. ماذا يحدث عند إضافة حمض إلى المحلول المنظم HF / F^-؟

86. عند إضافة الميثيل الأحمر إلى محلول مائي ينتج لون وردي. وعند إضافة الميثيل البرتقالي إلى المحلول نفسه ينتج لون أصفر. ما مدى pH تقريبًا للمحلول؟ استعمل **الشكل 24–2**.

87. أعط الاسم والصيغة الجزيئية للحمض والقاعدة اللذين أنتجا كلًّا من الأملاح الآتية:

a. NaCl **b.** $KHCO_3$ **c.** NH_4NO_2 **d.** CaS

إتقان حل المسائل

88. اكتب معادلات كيميائية ومعادلات أيونية كليّة لتميّه كل من الملحين الآتيين في الماء:

a. كربونات الصوديوم **b.** بروميد الأمونيوم

89. تنقية الهواء يستعمل هيدروكسيد الليثيوم لتنقية الهواء بإزالة ثاني أكسيد الكربون. فإذا تمت معايرة عينة من محلول هيدروكسيد الليثيوم حجمها 25.00 mL بمحلول حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.3340 M فتطلب 15.22 mL من الحمض. فما مولارية محلول LiOH؟

90. أضيف 74.30 mL من محلول NaOH الذي تركيزه 0.43885 M لمعايرة 45.78 mL من حمض الكبريتيك حتى نقطة النهاية. ما مولارية محلول H_2SO_4؟

مراجعة عامة

91. اكتب معادلة تفاعل التأين، وتعبير ثابت تأين القاعدة، للإيثيل أمين $C_2H_5NH_2$ في الماء.

92. كم mL من محلول HCl الذي تركيزه 0.225 M يُحتاج إليه لمعايرة 6.00 g من KOH؟

93. ما قيمة pH لمحلول تركيزه 0.200 M من حمض الهيبوبروموز HBrO؟ إذا علمت أنّ $K_a = 2.8 \times 10^{-9}$؟

94. أي مما يأتي حمض متعدد البروتونات؟ اكتب معادلات تأين متتالية للأحماض المتعددة البروتونات في الماء.

a. H_3BO_3

b. CH_3COOH

c. HNO_3

d. H_2SeO_3

95. اكتب معادلتين كيميائيتين موزونتين لتأين حمض الكربونيك في الماء، وحدد زوج الحمض والقاعدة المرافقين في كل معادلة.

96. تكرير السكر يستعمل هيدروكسيد الإسترانشيوم في تكرير سكر الشمندر. ويمكن إذابة 4.1 g فقط من هيدروكسيد الإسترانشيوم في 1 L من الماء عند درجة حرارة 273 K. فإذا كانت ذوبانية هيدروكسيد الإسترانشيوم منخفضة إلى هذه الدرجة، فاشرح لماذا يمكن اعتباره قاعدة قلوية قوية؟

97. ما تراكيز أيونات OH^- في محاليل لها قيم pH الآتية: 3.00 و6.00 و9.00 و12.00 عند درجة حرارة 298 K؟ وما قيم pOH لها؟

98. جهاز pH في **الشكل 31–2** مغموس في محلول حمض أحادي البروتون، HA، تركيزه 0.200 M عند درجة حرارة 303 K. ما قيمة K_a للحمض عند درجة حرارة 303 K؟



الشكل 31–2

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 2

99. اكتب المعادلة الكيميائية للتفاعل الذي يحدث عند إضافة قاعدة إلى المحلول المنظم HPO_4^{2-} / $H_2PO_4^-$.

التفكير الناقد

100. **انقد** العبارة الآتية: " يجب اعتبار المادة التي تحتوي صيغتها الكيميائية على مجموعة الهيدروكسيل قاعدةً".

101. **حلّل واستنتج** هل يمكن أن يصنّف المحلول حمضًا بحسب برونستد – لوري ولا يصنف حمضًا بحسب قاعدة أرهينيوس؟ وهل يمكن أن يكون حمضًا بحسب نظرية برونستد – لوري وليس حمضًا بحسب نظرية أرهينيوس؟ هل يمكن ألا يصنّف حمض لويس بوصفه حمض أرهينيوس أو برونستد – لوري؟ اشرح ذلك مع ذكر أمثلة.

102. **طبّق المفاهيم** استعمل ثابت تأين الماء عند درجة حرارة 298 K لتفسير لماذا ينبغي للمحلول الذي قيمة pH له 3.0 أن تكون قيمة pOH له = 11.0؟

103. **حدّد** أحماض وقواعد لويس في التفاعلات الآتية:

a. $H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$

b. $Cl^- + BCl_3 \rightleftharpoons BCl_4^-$

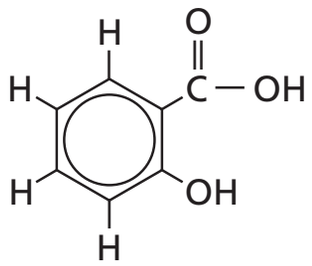
c. $SO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2SO_4$

104. **تفسير الرسوم العلمية** ارسم منحنى الرقم الهيدروجيني pH مقابل الحجم الناتج عن معايرة حمض ثنائي البروتونات بمحلول NaOH تركيزه 0.10 M.

105. **السبب والنتيجة** وضح كيف يعمل المحلول المنظم من خلال النظام المنظم $C_2H_5NH_2$/ $C_2H_5NH_3^+$؟ وبيّن مستعينًا بالمعادلات كيف يتأثر نظام (القاعدة الضعيفة/ الحمض المرافق) عند إضافة كميات صغيرة من الأحماض والقواعد إلى محلول هذا النظام؟

106. **طبّق المفاهيم** تتغير قيمة K_w كغيرها من ثوابت الاتزان بحسب درجة الحرارة. K_w يساوي 2.92×10^{-15} عند 10°C، و 1.00×10^{-14} عند 25°C و 2.92×10^{-14} عند 40°C. في ضوء هذه المعلومات احسب قيم pH للماء النقي عند درجات الحرارة الثلاث هذه، وقارن بينها. هل يصح القول إن pH للماء النقي دائمًا 7.0؟ اشرح إجابتك.

107. **توقع** يستعمل حمض الساليسليك ـ المبين في **الشكل 32–2** في تحضير الأسبرين. بناءً على معرفتك بالهيدروجين القابل للتأين في جزيء حمض الخل CH_3COOH، توقع أي ذرات الهيدروجين في حمض الساليسليك قد تكون قابلة للتأين؟



الشكل 32–2

مسألة تحفيز

108. لديك 20.0 mL من محلول حمض ضعيف، HX، و $K_a = 2.14 \times 10^{-6}$. وقد وجد أن pH للمحلول 3.800. ما كمية الماء المقطر التي يجب إضافتها إلى المحلول لرفع pH إلى 4.000؟

مراجعة تراكمية

109. عند حرق 5.00 g من مركب في مسعر، ارتفعت درجة حرارة 2.00 kg من الماء من 24.5 °C إلى 240.5 °C. ما كمية الحرارة التي تنطلق عند حرق 1.00 mol من المركب (الكتلة المولية = 46.1 g /mol)؟

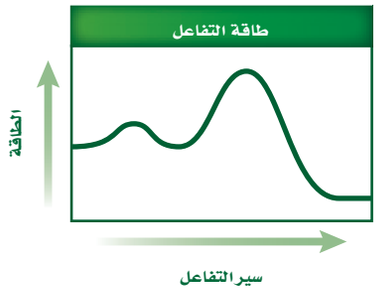
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 2

110. يتفاعل الهيدروجين والفلور لتكوين HF بحسب معادلة الاتزان الآتية:

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF \quad \Delta H = -538KJ$$

هل تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كمية المادة الناتجة؟ اشرح ذلك.



الشكل 33–2

111. يبين **الشكل 33–2** تغير الطاقة في أثناء سير تفاعل ما.

a. هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة؟

b. ما عدد الخطوات التي يحدث فيها التفاعل؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

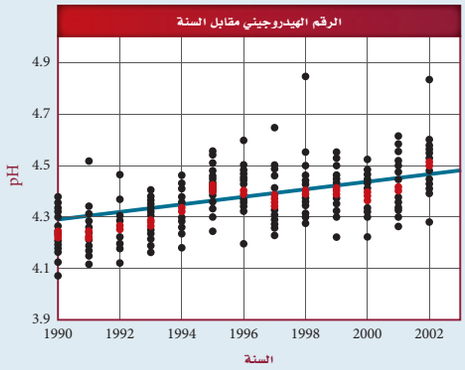
112. نظريات الأحماض والقواعد تخيل أنك الكيميائي برونستد في عام 1923م، وقد قمت بصياغة نظرية جديدة عن الأحماض والقواعد. اكتب رسالة إلى العالم السويدي أرهينيوس، تناقش فيها الفروق بين نظريتك ونظريته، وتشير فيها إلى مزايا نظريتك.

113. الأحماض الأمينية هناك عشرون حمضًا أمينيًّا تتحد لتكوين البروتينات في أجهزة المخلوقات الحية. اكتب بحثًا عن تراكيب وقيم Ka لخمسة أحماض أمينية وقوّمها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في **الجدول 4–2**.

أسئلة المستندات

ماء المطر يبين **الشكل 34–2** قياسات pH في عدد من مناطق المراقبة في إحدى الدول. وتمثل البقعة الوردية متوسط القياسات التي أخذت في جميع المناطق في وقت معين.

ادرس الرسم البياني جيدًا، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه.



الشكل 34–2

114. كيف يتغير متوسط pH للسنوات 2003م – 1990م؟

115. احسب $[H^+]$ لأدنى وأعلى pH مسجلة على الرسم البياني. وكم مرة تزيد حمضية ماء المطر الأكثر حمضية على حمضية ماء المطر الأقل حمضية؟

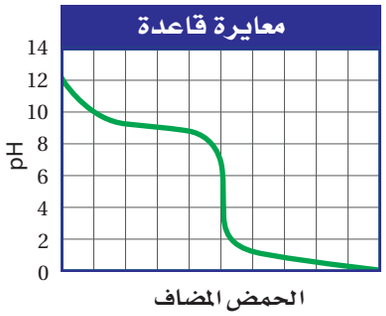
116. ما قيمة pH في عام 2003م؟ وما مقدار التغير في متوسط pH بين عامي 1990 و2003م؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤالين 1 و 2.



1. ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ لهذه المعايرة؟

a. 10
b. 9
c. 5
d. 1

2. ما الكاشف الأكثر فاعلية لتحري نقطة النهاية لهذه المعايرة؟

a. الميثيل البرتقالي الذي مداه 3.2 – 4.4
b. فينولفثالين الذي مداه 8.2 – 10
c. البروموكريسول الأخضر الذي مداه 3.8 – 5.4
d. الثايمول الأزرق الذي مداه 8.0 – 9.6

3. ينتج التنفس الخلوي 38 mol تقريبًا من ATP مقابل كل مول يستهلك من الجلوكوز:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

إذا كان كل 1 mol من ATP ينتج 30.5 kJ من الطاقة فما كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من قطعة حلوى تحتوي على 130.0 g من الجلوكوز؟

a. 27.4 kJ
b. 836 kJ
c. 1159 kJ
d. 3970 kJ

4. بروميد الهيدروجين HBr حمض قوي ومادة أكالة شديدة. ما pOH لمحلول HBr الذي تركيزه 0.0375 M ؟

a. 12.574
b. 12.270
c. 1.733
d. 1.433

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7.

ثوابت التأين وبيانات pH لبعض الأحماض العضوية الضعيفة

الحمض	pH محلول تركيزه 1.000 M	K_a
HA	1.87	1.78×10^{-4}
HB	؟	3.55×10^{-3}
HX	2.43	؟
HD	1.09	7.08×10^{-3}
HR	2.01	9.77×10^{-5}

5. أي حمض أقوى؟

a. HA
b. HB
c. HX
d. HD

6. ما ثابت تأين حمض HX؟

a. 1.0×10^{-5}
b. 2.43×10^{0}
c. 3.72×10^{-3}
d. 7.3×10^{4}

7. ما قيمة pH لمحلول حمض السيانوإيثانويك الذي تركيزه 0.40 M؟

a. 2.06
b. 1.22
c. 2.45
d. 1.42

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

8. ماذا نعني بقولنا: إن قيمة K_{eq} أكثر من 1؟

a. هناك مواد متفاعلة أكثر من النواتج عند الاتزان.
b. هناك نواتج أكثر من المواد المتفاعلة عند الاتزان.
c. سرعة التفاعل الأمامي عالية عند الاتزان.
d. سرعة التفاعل العكسي عالية عند الاتزان.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. الأحماض والقواعد الشائعة استعمل البيانات الموجودة في **الجدول أدناه** للإجابة عن الأسئلة الآتية:

المادة	pH
الأمونيا المنزلية	11.3
عصير الليمون	2.3
مضاد الحموضة	9.4
الدم	7.4
المشروبات الغازية	3.0

a. أي مادة أكثر قاعدية؟
b. أي مادة أقرب إلى التعادل؟
c. أي مادة تركيز $[H^+]$ فيها 4.0×10^{-10} M
d. أي مادة قيمة pOH لها 11.0
e. كم مرة تزيد قاعدية مضاد الحموضة على قاعدية الدم؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

10. أضيف 5.00 mL من HCl تركيزه 6.00 M إلى 95.00 mL من الماء النقي، وأصبح الحجم النهائي للمحلول 100 mL. ما قيمة pH للمحلول؟

11. محلول مائي منظم بحمض البنزويك C_6H_5COOH وبنزوات الصوديوم C_6H_5COONa، تركيز كل منهما 0.0500 M. فإذا كان K_a لحمض البنزويك يساوي 6.4×10^{-5}، فما قيمة pH للمحلول؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 3 تفاعلات الأكسدة والاختزال

Redox Reactions

الفكرة العامة تعدُّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمّن انتقالاً للإلكترونات.

3-1 الأكسدة والاختزال

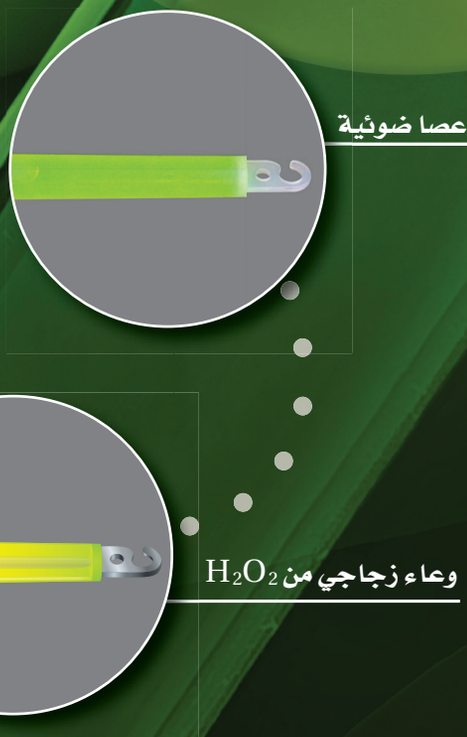
الفكرة الرئيسة يعدُّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

3-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الفكرة الرئيسة تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

حقائق كيميائية

- يمكن زيادة لمعان العصا الضوئية النشطة بتسخينها، لكن البريق لن يستمرَّ طويلًا.
- ليس بالضرورة أن يكون الضوء الناتج عن تفاعلات الأكسدة والاختزال مصحوبًا بالحرارة.
- يستعمل نحو 90% تقريبًا من الأحياء البحرية شكلًا من أشكال الضوء الحيوي الذي يتولّد من تفاعلات الأكسدة والاختزال.

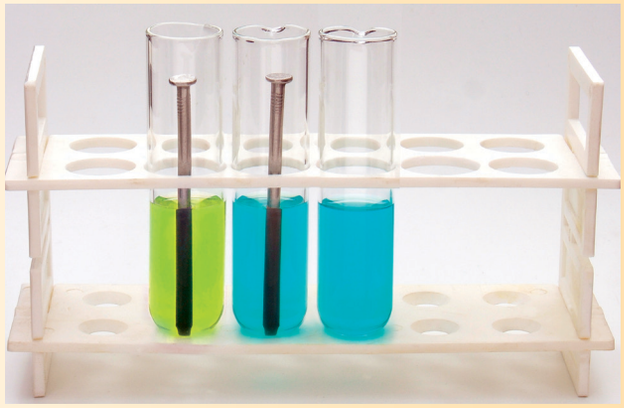


وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تجربة استهلالية

ماذا يحدث عندما يتفاعل الحديد وكبريتات النحاس II ؟

ينتج الصدأ عندما يتفاعل الحديد والأكسجين، ويتفاعل الحديد أيضًا مع مواد أخرى غير الأكسجين.



خطوات العمل

1. اقرأ نموذج احتياطات السلامة في المختبر.
2. استعمل قطعةً من **ورق الصنفرة** لتلميع **مسمار الحديد**.
3. أضف 3 mL تقريبًا من محلول **1.0 M** من **كبريتات النحاس II $CuSO_4$** إلى **أنبوب اختبار**، وضع المسمار الذي جرى تلميعه في محلول $CuSO_4$، ثم ضع أنبوب الاختبار في **حامل الأنابيب**، وراقبه مدة 10دقائق ، ثم سجّل ملاحظاتك.

تحليل النتائج

1. **فسّر** ما يحدث للون محلول كبريتات النحاس.
2. **حدّد** المادة التي التصقت بالمسمار.
3. **اكتب** المعادلة الكيميائية الموزونة لهذا التفاعل.

استقصاء ماذا يمكن أن يحدث للنحاس لو وضع في محلول كبريتات الحديد؟ صمّم تجربةً لاختبار فرضيتك.

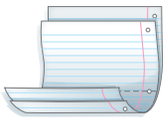
المطويات
منظمات الأفكار

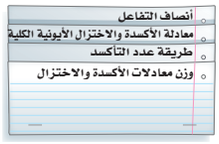
وزن معادلات الأكسدة والاختزال صمّم المطوية الآتية لتساعدك على تلخيص المعلومات حول الطرائق المختلفة في وزن معادلات الأكسدة والاختزال.

الخطوة 1 اجمع طبقتين من الورق، واجعل طرف الورقة العلوية على بعد 2 cm من حافة الورقة السفلية كما في الشكل.



الخطوة 2 اثنِ الحواف السفلية إلى أعلى لتكوّن أربعة تفرعات متساوية. ثم ثبّت الثنية بالضغط عليها لتحافظ على التفرع في مكانه جيدًا، كما في الشكل المجاور.





الخطوة 3 ثبّت الثنيات وعنونها على النحو الآتي: وزن معادلات الأكسدة والاختزال، طريقة عدد التأكسد، معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية، أنصاف التفاعل.

المطويات **استعمل المطوية في القسم 2–3،** ولخّص ما تقرؤه حول موازنة معادلات الأكسدة والاختزال، واعرض مثالًا على كل طريقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–1

الأهداف

- **تصف** تفاعلات الأكسدة والاختزال
- **تحدّد** العوامل المؤكسدة والمختزلة.
- **تحدّد** عدد التأكسد لعنصر في مركب.
- **تفسّر** تفاعلات الأكسدة والاختزال من حيث التغير في حالة التأكسد.

مراجعة المفردات

الأيون المتفرّج الأيون غير المشترك في التفاعل ولا يظهر في المعادلة الأيونية.

المفردات الجديدة

تفاعل الأكسدة والاختزال

الأكسدة

الاختزال

العامل المؤكسد

العامل المختزل

الأكسدة والاختزال
Oxidation and Reduction

الفكرة الرئيسة **يُعدّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.**

الربط مع الحياة ينتج ضوء العصا الضوئية عن تفاعل كيميائي، فعندما تكسر الكبسولة الزجاجية داخل الإطار البلاستيكي يحدث تفاعل بين مادتين، وتنتقل الإلكترونات، فتتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ضوئية.

انتقال الإلكترون وتفاعل الأكسدة والاختزال
Electron Transfer and Redox Reactions

يمكن تصنيف التفاعلات الكيميائية في العادة إلى خمسة أنواع من التفاعلات هي: التكوين، التفكك، والاحتراق، والإحلال البسيط، والإحلال المزدوج. ومن خواصّ تفاعلات الاحتراق والإحلال البسيط أنها يتضمنان انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى، كما هو الحال في كثير من تفاعلات التكوين و التفكك. ففي تفاعل التكوين على سبيل المثال، يتفاعل الصوديوم Na، والكلور Cl_2 لتكوين المركب الأيوني NaCl، وينتقل إلكترونان من ذرتي صوديوم إلى جزيء الكلور Cl_2 ويتكون أيونان من الصوديوم وأيونان من الكلوريد، وتكون المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل على النحو الآتي:

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2NaCl_{(s)}$

والمعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة):

$2Na_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2Na^{+}{}_{(s)} + 2Cl^{-}{}_{(s)}$

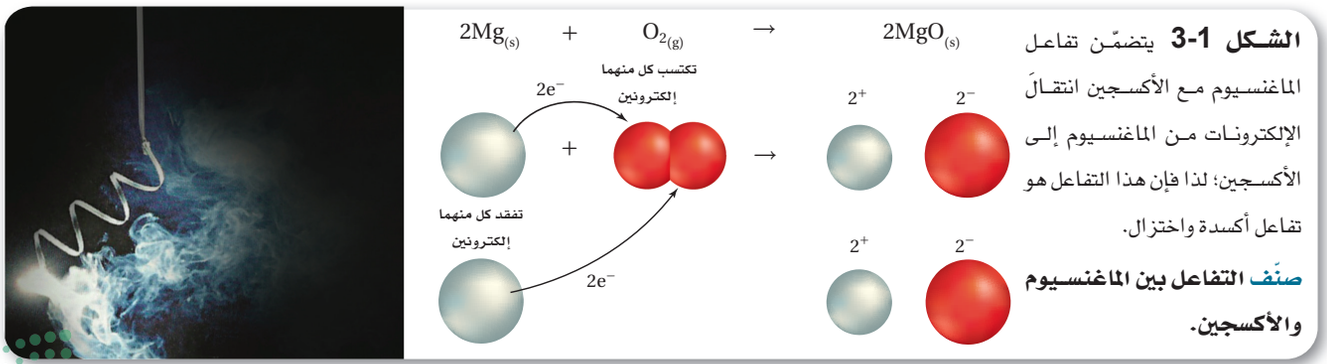
أما تفاعل الماغنسيوم في الهواء الذي يتضمن انتقال الإلكترونات فهو مثال على تفاعل الاحتراق.

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2MgO_{(s)}$

المعادلة الأيونية الكلية (الأيونات المكونة للبلورة)

$2Mg_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Mg^{2+}{}_{(s)} + 2O^{2-}{}_{(s)}$

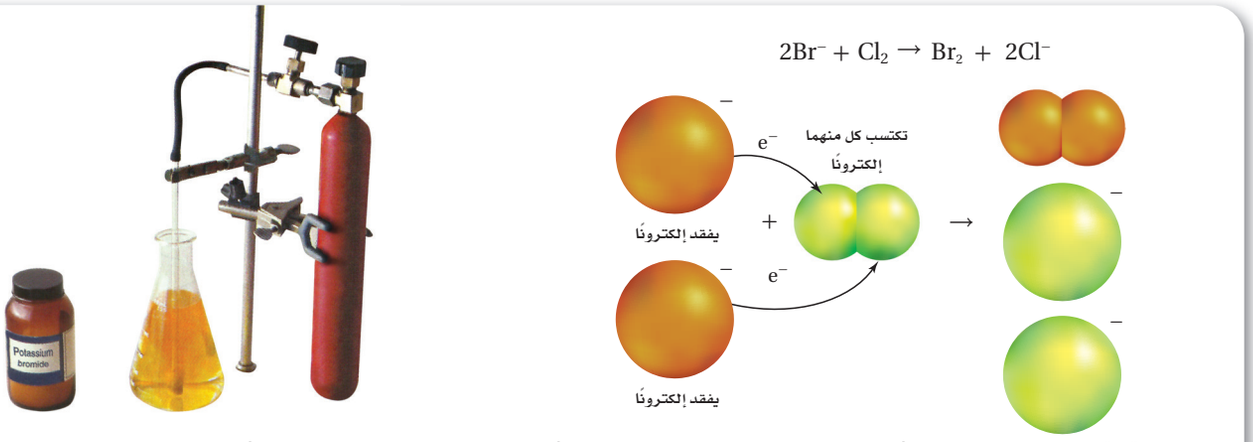
عندما يتفاعل الماغنسيوم مع الأكسجين، كما في **الشكل 1–3**، فإنّ كلّ ذرة ماغنسيوم تعطي إلكترونين إلى كل ذرة أكسجين، وتتحول ذرة الماغنسيوم إلى أيون Mg^{2+}، وتتحول



الشكل 1-3 يتضمّن تفاعل الماغنسيوم مع الأكسجين انتقالَ الإلكترونات من الماغنسيوم إلى الأكسجين؛ لذا فإن هذا التفاعل هو تفاعل أكسدة واختزال.

صنّف التفاعل بين الماغنسيوم والأكسجين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 2-3 التفاعل بين محلول أيونات البروميد وغاز الكلور هو تفاعل أكسدة، هنا تنتقل الإلكترونات من أيونات البروم إلى الكلور.

ذرة الأكسجين إلى الأيون O^{2-}، ويُسمَّى التفاعل الذي انتقلت فيه الإلكترونات من إحدى الذرات إلى ذرة أخرى **تفاعل الأكسدة والاختزال**.

لنأخذ تفاعل الإحلال البسيط بين المحلول المائي للكلور وأيونات البروميد لتكوين محلول مائي من كلوريد البوتاسيوم والبروم الموضح في **الشكل 2-3**.

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2KBr_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow 2KCl_{(aq)} + Br_{2(aq)}$

المعادلة الكلية: $2Br^-_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow Br_{2(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$

يُلاحظ أن الكلور يكتسب الإلكترونات من أيونات البروميد ليكوّن أيونات الكلوريد، وعندما يفقد أيونا البروميد الإلكترونات تتحد ذرتا البروم برابطةٍ تساهميةٍ لتكوين جزيء Br_2. إن تكوين الرابطة التساهمية بمشاركة الإلكترونات هو أيضًا تفاعل أكسدة واختزال.

الأكسدة والاختزال أطلقت كلمة الأكسدة فيما مضى على التفاعلات التي تتضمّن اتحاد المادة بالأكسجين، أما الآن فتعرّف عملية **الأكسدة** على أنها فقدان ذرة المادة للإلكترونات. تفحص مرةً أخرى معادلة تفاعل الصوديوم والكلور الكلية، تلاحظ أن الصوديوم قد تأكسد لأنه فقد إلكترونًا.

التأكسد: $Na \rightarrow Na^+ + e^-$

وحتى يحدث تفاعل الأكسدة يجب أن تُكتسب الإلكترونات التي تفقدها المادة المتأكسدة من قبل ذرات أو أيونات مادة أخرى، وبعبارة أخرى يجب أن تكون هناك عملية مرافقة تتضمن اكتساب الإلكترونات المفقودة. أما عملية **الاختزال** فتعرّف على أنها اكتساب ذرات المادة للإلكترونات. وبالرجوع إلى مثال كلوريد الصوديوم فإن تفاعل الاختزال المرافق لتفاعل الأكسدة هو اختزال الكلور.

الاختزال: $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$

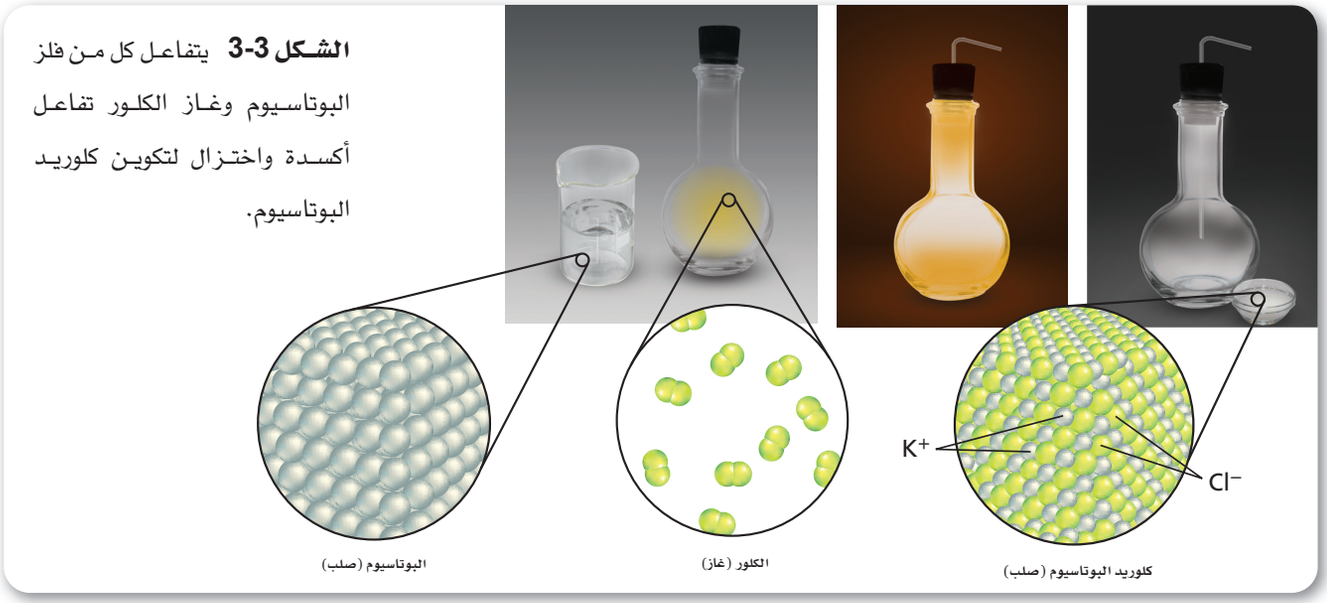
إذن فالأكسدة والاختزال عمليتان مترافقتان متكاملتان؛ فلا يحدث تفاعل الأكسدة إلا إذا حدث تفاعل اختزال، ومن المهم جدًّا التمييز بين تفاعلي الأكسدة والاختزال.

المفردات

أصل الكلمة

الاختزال (Reduction) جاءت من الأصل اللاتيني re، وتعني الخلف، وducere وتعني يقود.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 3-3 يتفاعل كل من فلز البوتاسيوم وغاز الكلور تفاعل أكسدة واختزال لتكوين كلوريد البوتاسيوم.

التغير في عدد التأكسد تتذكر أن عدد التأكسد لذرة في المركب الأيوني هو عدد الإلكترونات التي فقدتها أو اكتسبتها الذرة عندما كوّنت الأيونات، وأن تفاعل البوتاسيوم مع الكلور، الموضح في **الشكل 3-3**، هو تفاعل أكسدة واختزال، ومعادلة تفاعل فلز البوتاسيوم مع غاز الكلور هي على النحو الآتي:

المعادلة الكيميائية الكاملة: $2K_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2KCl_{(s)}$

المعادلة الأيونية الكلية: $2K_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow 2K^+_{(s)} + 2Cl^-_{(s)}$

يوجد البوتاسيوم ضمن عناصر المجموعة الأولى في الجدول الدوري، التي تميل إلى فقد إلكترون واحد في التفاعل؛ بسبب انخفاض كهروسالبيتها، وعدد تأكسدها 1+. ومن ناحية أخرى يوجد الكلور ضمن عناصر المجموعة 17 التي تميل إلى اكتساب الإلكترونات؛ لأن كهروسالبيتها عالية، وعدد تأكسدها في كثير من المركبات 1−. ففي مفهوم الأكسدة والاختزال يمكنك القول إن ذرات البوتاسيوم قد تأكسدت من حالة الصفر إلى حالة 1+؛ لأن كل ذرة فقدت إلكترونًا، واختزلت ذرات الكلور من الصفر إلى الحالة 1−، فكل ذرة أو أيون عند اختزاله يقل عدد تأكسده. وعلى العكس من ذلك عندما تتأكسد ذرة أو أيون يزيد عدد تأكسدها.

ويعدّ عدد التأكسد أداةً يستعملها العلماء لكتابة المعادلة الكيميائية لمساعدتهم على الاحتفاظ بمسار حركة الإلكترونات في تفاعل الأكسدة. ويكتب عدد التأكسد مع الإشارة السالبة أو الموجبة قبل العدد (2+ ، 3+)، في حين تُكتَب إشارة الشحنة الأيونية بعد العدد (2+ ، 3+).

عدد التأكسد: 3+ الشحنة الأيونية: 3+

ماذا قرأت؟ حدّد أي العناصر أكثر قابليةً لاكتساب الإلكترونات: البوتاسيوم أم الكلور؟

مهن في الكيمياء

صانع الفخار فنان يصنع الفخار، ويستعمل مواد تحتوي على أيونات فلزية لإضفاء الألوان المختلفة على الفخار عند حرقه. وتظهر المواد الزجاجية، التي تحتوي على أيونات النحاس، باللون الأخضر المائل إلى الزرقة عند تأكسدها، وتعطي اللون الأحمر عند حرقها في الفرن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة
Oxidizing and Reducing Agents

يمكن وصف تفاعل البوتاسيوم – الكلور في **الشكل 3–3** بأن البوتاسيوم قد تأكسد بواسطة الكلور. المادة التي يحدث لها اختزال (تكتسب إلكترونات) تُسمى **عاملًا مؤكسدًا**، أما المادة التي يحدث لها أكسدة (تفقد إلكترونات) فتُسمى **عاملًا مختزلًا**؛ لذا فالعامل المختزل في تفاعل البوتاسيوم – الكلور هو البوتاسيوم؛ أي المادة التي تأكسدت.

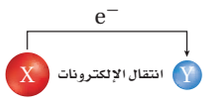
$$\overset{\text{أكسدة}}{2K_{(s)}} + \underset{\text{اختزال}}{Cl_{2(g)}} \rightarrow 2KCl_{(s)}$$

العامل المختزل: K

العامل المؤكسد: Cl_2

ومن التطبيقات الشائعة على تفاعلات الأكسدة والاختزال إزالة الشوائب من الفلزات. وتُعدُّ العوامل المؤكسدة والمختزلة الأخرى مفيدة في الحياة اليومية. فعلى سبيل المثال عند إضافة مبيض الغسيل إلى الملابس لتبييضها، فإنك تستعمل محلولًا من هيبوكلوريت الصوديوم NaClO؛ وهو عامل مؤكسد يؤدي إلى أكسدة البقع والأصباغ ومواد أخرى. ويلخص **الجدول 1–3** الطرائق المختلفة لوصف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

الجدول 1-3 ملخص تفاعلات الأكسدة والاختزال

العملية	
الأكسدة	
• المادة المتفاعلة تفقد إلكترونًا.	• X يفقد إلكترونًا.
• يتأكسد العامل المختزل.	• X عامل مختزل ويتأكسد.
• يزيد عدد التأكسد.	• يزيد عدد التأكسد للمادة X.
الاختزال	
• المادة المتفاعلة الأخرى تكتسب إلكترونًا.	• Y يكتسب إلكترونًا.
• يختزل العامل المؤكسد.	• Y العامل المؤكسد يُختَزل.
• يقلّ عدد التأكسد.	• يقلّ عدد التأكسد للمادة Y.

تجربة

ملاحظة تفاعل الأكسدة والاختزال

كيف يمكن إزالة الشوائب من الفضة؟

الخطوات



1. اقرأ نموذج الأمان في المختبر.
2. لُفّ قطعةً من **رقائق الألومنيوم** برفق مستعملًا الصوف لإزالة أي طبقة مؤكسدة تغطيها.
3. لف **قطعةً صغيرةً متأكسدة** من معدن الفضة برقائق الألومنيوم، وتأكد من التصاق المنطقة المتأكسدة تمامًا برقائق الألومنيوم.
4. ضع القطعة الملفوفة في كأس سعتها 400 mL، وأضف كميةً محددةً **من ماء الصنبور** حتى تغطيها تمامًا.
5. أضف مقدار ملعقة من **صودا الخبز**، ومقدار ملعقة من **ملح المائدة** إلى الكأس.
6. أمسك الكأس بالماسك وضعها على السخان، وسخّن محتوياتها حتى درجة الغليان، مع الحفاظ على الحرارة مدة 15 دقيقة تقريبًا حتى تزول الشوائب.

التحليل

1. **اكتب** معادلة تفاعل الفضة مع كبريتيد الهيدروجين، التي تنتج كبريتيد الفضة والهيدروجين.
2. **اكتب** معادلة تفاعل كبريتيد الفضة (الشوائب) مع رقائق الألومنيوم والتي تنتج كبريتيد الألومنيوم والفضة.
3. **حدّد** أي الفلزات أكثر نشاطًا: الألومنيوم أم الفضة؟ وكيف تعرف ذلك من النتائج؟
4. **فسر** لماذا يجب ألا تستعمل أواني الألومنيوم عند تنظيف مواد مصنوعة من الفضة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تفاعلات الأكسدة والاختزال والكهروسالبية
Redox and Electronegativity

لا تقتصر تفاعلات الأكسدة والاختزال على تحول ذرات العناصر إلى أيونات أو العكس، بل تتضمن بعضُ تفاعلات الأكسدة والاختزال تغيراتٍ في الجزيئات أو الأيونات الذرية التي تتّحد فيها الذرات تساهميًّا بذرات أخرى. فعلى سبيل المثال، تمثّل المعادلة الآتية تفاعل الأكسدة والاختزال المستعمل في صناعة الأمونيا NH_3:

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$$

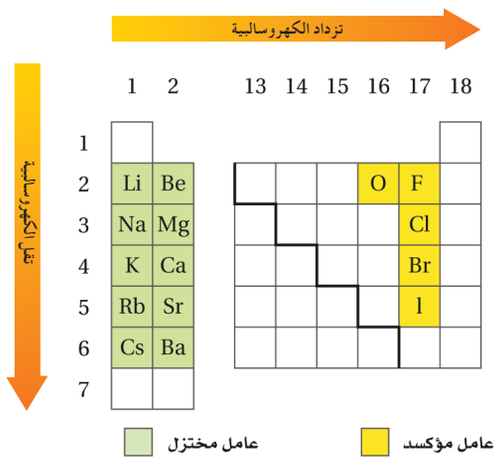
وهذه العملية لا تتضمن أيوناتٍ ولا انتقالًا للإلكترونات. فالمتفاعلات والنواتج جميعها مركبات جزيئية، ومع ذلك يعد تفاعل تأكسد واختزال؛ إذ يعدّ النيتروجين عاملًا مؤكسدًا، والهيدروجين عاملًا مختزلًا.

في وضع مثل الأمونيا حيث تتشارك ذرتان في الإلكترونات، كيف يمكننا القول إن إحدى الذرات فقدت الإلكترونات وتأكسدت، في حين اكتسبت الذرة الأخرى الإلكترونات واختزلت؟ للإجابة عن ذلك تحتاج إلى معرفة الذرة التي تجذب الإلكترونات بقوة أكبر، أو بعبارة أخرى معرفة أي الذرات لها كهروسالبية أكبر. يوضح **الشكل 4–3** تزايد الكهروسالبية من اليسار إلى اليمين عبر الدورة، وتقلّ بصورة عامة كلما اتجهنا في المجموعة إلى أسفل.

$$\overbrace{N_{2(g)} + 3\underbrace{H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}}_{\text{تأكسدت (فقد } e^-\text{)}}}^{\text{اختزلت (اكتساب } e^-\text{)}}$$

وتعدّ عناصر المجموعتين 1 و2 ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلةً قويةً، وعناصر المجموعة 17 والأكسجين في المجموعة 16 ذات الكهروسالبية العالية عوامل مؤكسدة قوية.

وتساوي كهروسالبية الهيدروجين 2.20 تقريبًا، في حين تبلغ كهروسالبية النيتروجين 3.04 تقريبًا. وبهدف دراسة تفاعلات الأكسدة والاختزال فإنه كلما زادت كهروسالبية الذرة، مثل النيتروجين في هذه الحالة، يُعامل كما لو اختزل باكتسابه الإلكترونات من الذرة الأخرى وهي الهيدروجين في هذه الحالة. وعلى العكس، فإنّ الذرة الأقل كهروسالبيةً وهي الهيدروجين قد تأكسدت بفقدانها الإلكترونات لصالح الذرة الأخرى وهي النيتروجين.



الشكل 4-3 تزداد كهروسالبية العناصر من اليسار إلى اليمين عبر الجدول الدوري، وتقل في الاتجاه نحو أسفل عبر المجموعة الواحدة. وتعدّ العناصر ذات الكهروسالبية المنخفضة عوامل مختزلة قويةً، والعناصر ذات الكهروسالبية المرتفعة عوامل مؤكسدة قويةً.

توقع أي العناصر يمكن أن تكون أقوى بوصفها عوامل مؤكسدة، وأيها أقوى بوصفها عوامل مختزلةً؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 1-3

تفاعلات الأكسدة والاختزال تمثّل المعادلة الآتية تفاعل أكسدة واختزال الألومنيوم والحديد.

$$2Al + 2Fe^{3+} + 3O^{2-} \rightarrow 2Fe + 2Al^{3+} + 3O^{2-}$$

حدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت في هذا التفاعل.

حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيتَ المتفاعلات والنواتج في التفاعل، لذا عليك تحديد انتقال الإلكترونات الحاصل، ثم يمكنك تطبيق تعريف العامل المؤكسد والعامل المختزل للإجابة عن السؤال.

2 حساب المطلوب

حدّد عمليتي التأكسد والاختزال.

فقد الألومنيوم 3 إلكترونات وأصبح أيون الألومنيوم. $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ (فقدان الإلكترونات – أكسدة)

اكتسب الحديد 3 إلكترونات فقدها الألومنيوم. $Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$ (اكتساب الإلكترونات – اختزال)

لأن الألومنيوم تأكسد لذا فهو العامل المختزل، ولأن الحديد اختزل لذا فهو العامل المؤكسد.

3 تقويم الإجابة

تأكسد الألومنيوم في هذه العملية بفقده الإلكترونات، في حين اختُزل الحديد واكتسب الإلكترونات، ومن ثَمّ يتفق تعريف كل من الأكسدة والاختزال والعامل المؤكسد والعامل المختزل مع ما تقدم. لاحظ أن عدد تأكسد الأكسجين لم يتغير في هذا التفاعل؛ لذا لا يعدّ الأكسجين عاملًا مفتاحيًّا لحل المسألة.

مسائل تدريبية

1. حدّد التغيرات، في كل مما يلي سواء أكانت أكسدة أم اختزالًا؟ وتذكر أن e^- هو رمز الإلكترون:
   a. $I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$
   b. $K \rightarrow K^+ + e^-$
   c. $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$
   d. $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$
2. حدّد العناصر التي تأكسدت والعناصر التي اختزلت في العمليات الآتية:
   a. $2Br^- + Cl_2 \rightarrow Br_2 + 2Cl^-$
   b. $2Ce + 3Cu^{2+} \rightarrow 3Cu + 2Ce^{3+}$
   c. $2Zn + O_2 \rightarrow 2ZnO$
   d. $2Na + 2H^+ \rightarrow 2Na^+ + H_2$
3. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:
   $Fe_{(s)} + 2Ag^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$
4. **تحفيز** حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي:
   a. $Mg_{(s)} + I_{2(s)} \rightarrow MgI_{2(s)}$
   b. $H_2S_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightarrow S_{(s)} + 2HCl_{(g)}$

واقع الكيمياء في الحياة

الأكسدة





الصدأ يتأكسد الحديد عندما يلامسه الهواء الرطب، مكونًا أكسيد الحديد III Fe_2O_3 ويسمى الصدأ، والصدأ شائع جدًّا؛ لأن مركبات الحديد سريعة التفاعل مع الأكسجين، والحديد النقي غير شائع في الطبيعة. وحاليًّا يستعمل الفولاذ وهو سبيكة يعدّ الحديد المكون الأساسي لها.

وهناك طرائق كثيرة يمكن اتباعها لحماية الحديد كالطلاء، والدهان، وإضافة المواد البلاستيكية لحماية منتجات الحديد من الأكسدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

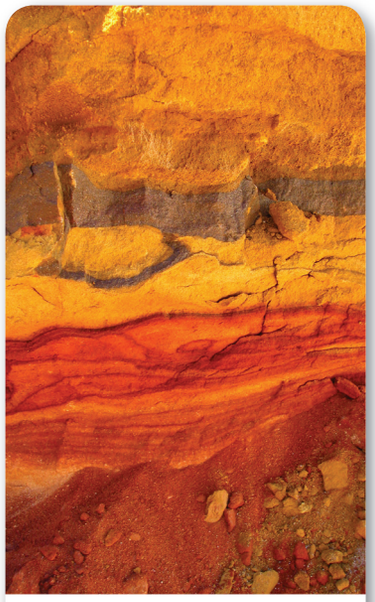
تحديد أعداد التأكسد
Determining Oxidation Numbers

لنفهم جميع أنواع تفاعلات الأكسدة والاختزال لا بد من تعرُّف الطريقة التي يتم بها تحديد عدد التأكسد (n) لذرات العناصر الداخلة في التفاعل، ويلخص **الجدول 2-3** القواعد التي يستعملها الكيميائيون لتسهيل عملية التحديد.

لاحظ أن الجدول لا يتضمن العناصر الانتقالية وأشباه الفلزات واللافلزات التي قد يكون لها أكثر من عدد تأكسد في المركبات المختلفة. فعلى سبيل المثال للحديد أعداد تأكسد مختلفة يُستدلُّ عليها من خلال الألوان الموضحة في **الشكل 5-3**.

الجدول 2-3 قواعد تحديد أعداد التأكسد للعناصر

القاعدة	مثال	عدد التأكسد (n)
1. عدد تأكسد الذرة غير المتحدة يساوي صفرًا.	Na, O_2, Cl_2, H_2	0
2. عدد تأكسد الأيون الأحادي الذرة يساوي شحنة الأيون.	Ca^{2+}	+2
	Br^-	−1
3. عدد تأكسد الذرة الأكثر كهروسالبية في الجزيء أو الأيون المعقد هو الشحنة نفسها التي سيكون عليها كما لو كان أيونًا.	N في NH_3	−3
	O في NO	−2
4. عدد تأكسد العنصر الأكثر كهروسالبية (الفلور) هو دائمًا 1− عندما يرتبط بعنصر آخر.	F في LiF	−1
5. عدد تأكسد الأكسجين في المركب دائمًا يساوي 2− ما عدا مركبات فوق الأكاسيد كما في المركب فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، حيث يساوي 1−. وعندما يرتبط بالفلور العنصر الوحيد الذي له كهروسالبية أعلى من الأكسجين يكون عدد تأكسده موجبًا.	O في NO_2	−2
	O في H_2O_2	−1
	O في OF_2	+2
6. عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته يساوي 1+ ماعدا الهيدريدات فيساوي 1−	H في NaH	−1
7. عدد تأكسد فلزات المجموعتين الأولى والثانية والألومنيوم يساوي عدد إلكترونات المدار الخارجي.	K	+1
	Ca	+2
	Al	+3
8. مجموع أعداد التأكسد في المركبات المتعادلة يساوي صفرًا.	$CaBr_2$	$(+2) + 2(-1) = 0$
9. مجموع أعداد التأكسد للمجموعات الذرية يساوي شحنة المجموعة.	SO_3^{2-}	$(+4) + 3(-2) = -2$



الشكل 5-3 صخر يوضح طبقات من الحديد ناتجة عن الاختلاف في حالة تأكسد الحديد.

تجربة عملية

ميل الفلزات إلى فقد الإلكترونات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 2-3

تحديد أعداد التأكسد استعمل قواعد تحديد أعداد التأكسد لحساب عدد التأكسد لكل عنصر في مركب كلورات البوتاسيوم $KClO_3$ وفي أيون الكبريتيت SO_3^{2-}.

1 تحليل المسألة

أُعطيتَ أعداد التأكسد في قواعد تحديد أعداد التأكسد لكلٍّ من الأكسجين والبوتاسيوم، وأُعطيتَ الشحنة الكلية للأيون أو المركب. استخدم هذه المعلومات، وطبّق القواعد، وحدّد عدد التأكسد لكلٍّ من الكلور والكبريت (اجعل n عدد التأكسد للعنصر في السؤال).

المعطيات	المطلوب
$KClO_3$	$n_{Cl} = ?$
SO_3^{2-}	$n_S = ?$
$n_O = -2$	
$n_K = +1$	

2 حساب المطلوب

بيّن أعداد التأكسد لكل من العناصر المعروفة، واجعل مجموع أعداد التأكسد للعناصر في المركب أو الأيون مساويةً للصفر أو لشحنة الأيون، ثم جد القيمة المجهولة من أعداد التأكسد.

مجموع أعداد التأكسد للمركب المتعادل هو صفر.

$$(n_K) + (n_{Cl}) + 3\,(n_O) = 0$$

ولفلزات المجموعة الأولى يكون $n = +1$.

$$(+1) + (n_{Cl}) + 3(-2) = 0$$

عوّض $n_K = +1$، $n_O = -2$.

$$1 + n_{Cl} + (-6) = 0$$

جد قيمة n_{Cl}.

$$n_{Cl} = +5$$

مجموع أعداد التأكسد للأيون المتعدد الذرات يساوي شحنة الأيون.

$$(n_S) + 3\,(n_O) = -2$$

عوّض $n_O = -2$

$$(n_S) + 3(-2) = -2$$

$$n_S + (-6) = -2$$

جد قيمة n_S.

$$n_S = +4$$

3 تقويم الإجابة

لقد طُبِّقت قواعد حساب أعداد التأكسد تطبيقًا صحيحًا. فجميع أعداد التأكسد لكل عنصر أخذت القيمة الصحيحة لها.

مسائل تدريبية

5. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في الصيغ الجزيئية الآتية:

a. $NaClO_4$ **b.** $AlPO_4$ **c.** HNO_2

6. حدّد عدد التأكسد للعنصر المكتوب بلون داكن في صيغ الأيونات الآتية:

a. NH_4^+ **b.** AsO_4^{3-} **c.** CrO_4^{2-}

7. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في الجزيئات الآتية:

a. NH_3 **b.** KCN **c.** N_2H_4

8. تحفيز حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد كلٍّ من العناصر في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)}$

b. $Cl_{2(g)} + ZnI_{2(s)} \rightarrow ZnCl_{2(s)} + I_{2(s)}$

c. $CdO_{(s)} + CO_{(g)} \rightarrow Cd_{(s)} + CO_{2(g)}$

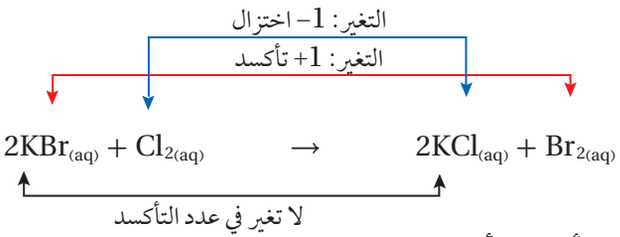
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

أعداد التأكسد في تفاعلات الأكسدة والاختزال
Oxidation Numbers in Redox Reactions

بعد أن درست أعداد التأكسد عليك أن تكون قادرًا على الربط بين تفاعلات الأكسدة والاختزال والتغير في عدد التأكسد. وبالرجوع إلى معادلة التفاعل الذي شاهدته في بداية الدرس وهو استبدال البروم بالكلور Cl_2 في محلول بروميد البوتاسيوم KBr.

$$2KBr_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \longrightarrow 2KCl_{(aq)} + Br_{2(aq)}$$

ابدأ أولًا بتحديد عدد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة الموزونة مستخدمًا **الجدول 3-3**، ثم راجع التغيرات كما هو موضح في المعادلة أدناه.



ستلاحظ أن عدد تأكسد البروم قد تغيّر من 1− إلى صفر، بزيادة مقدارها 1. وقد تغيّر في الوقت نفسه عدد تأكسد الكلور من صفر إلى 1−؛ أي قلّ بمقدار 1؛ لذا اختُزِل الكلور وتأكسد البروم.

عندما تتأكسد الذرة يزيد عدد التأكسد، وعندما تختزل يقلّ عدد التأكسد. لاحظ أنه ليس هناك تغير في عدد تأكسد البوتاسيوم؛ لأن أيون البوتاسيوم لا يشترك في التفاعل؛ لذا يُعدّ أيونًا متفرجًا.

الجدول 3-3 أعداد التأكسد لبعض العناصر

عدد التأكسد	1+	2+	3+	1−	2−
الألومنيوم			×		
الباريوم		×			
البروم				×	
الكاديوم		×			
الكالسيوم		×			
السيزيوم	×				
الكلور				×	
الفلور				×	
الهيدروجين	×			×	
اليود				×	
الليثيوم	×				
الماغنسيوم		×			
الأكسجين					×
البوتاسيوم	×				
الصوديوم	×				
الفضة	×				
الإسترانشيوم		×			

التقويم 3-1

الخلاصة

- تتضمّن تفاعلات الأكسدة والاختزال انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى.
- عندما تختزل ذرة أو أيون يقل عدد تأكسدها، وعندما تتأكسد ذرة أو أيون يزداد عدد تأكسدها.
- في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تتضمّن مركبات جزيئيةً وأيونات متعددة الذرات بروابط تساهمية، فالذرات الأعلى كهروسالبية تختزل، في حين تتأكسد الذرات ذات الكهروسالبية الأقل.

9. الفكرة الرئيسة **فسّر** لماذا يجب أن يحدث تفاعلا الأكسدة والاختزال دائمًا معًا؟

10. صف دور كل من العوامل المؤكسدة والمختزلة في تفاعلات الأكسدة والاختزال. وكيف يتغير كلٌّ منهما في التفاعل؟

11. اكتب معادلة تفاعل فلز الحديد مع حمض الهيدروبروميك لتكوين بروميد الحديد III وغاز الهيدروجين. ثم حدّد التغير الكلي في عدد تأكسد العنصر الذي اختُزل والعنصر الذي تأكسد.

12. حدّد عددَ التأكسد للعنصر الذي يظهر باللون الداكن في المركبات الآتية:

a. HNO_3 **b.** Ca_3N_2 **c.** Sb_2O_5 **d.** $CuWO_4$

13. حدّد عدد التأكسد للعنصر الذي يظهر باللون الداكن في الأيونات الآتية:

a. IO_4^- **b.** MnO_4^- **c.** $B_4O_7^{2-}$ **d.** NH_2^-

14. الرسم البياني واستعماله تعدُّ الفلزات القلوية عوامل مختزلةً قويةً. ارسم رسمًا بيانيًّا توضح فيه كيف تزداد أو تقل قابلية الفلزات القلوية للاختزال كلما اتجهنا أسفل المجموعة ابتداءً من الصوديوم حتى الفرانسيوم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2

الأهداف

- **تربط** التغير في عدد التأكسد بانتقال الإلكترونات.
- **تستعمل** التغير في عدد الأكسدة لوزن معادلات الأكسدة والاختزال.
- **تزن** معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية مستعملًا طريقة نصف التفاعل.

مراجعة المفردات

المعادلة الأيونية الكلية: معادلة أيونية تتضمن الجسيمات المشاركة في التفاعل فقط.

المفردات الجديدة

طريقة عدد التأكسد

نصف التفاعل

وزن معادلات الأكسدة والاختزال
Balancing Redox Reactions

الفكرة الرئيسة **تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.**

الربط مع الحياة عندما تفسد المواد الدهنية في الأطعمة، يقال إنها أصبحت حمضية؛ إذ تتكسر الجزيئات الكبيرة خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال منتجة رائحة كريهة. وتعد المعادلة الخاصة بهذه العملية معقدة جدًّا، ولكننا نستطيع وزنها باستعمال القواعد نفسها التي استعملناها في وزن المعادلات الأبسط.

طريقة عدد التأكسد The Oxidation–Number Method

يجب وزن المعادلات الكيميائية لتوضيح الكميات الصحيحة للمتفاعلات والنواتج. لذا ادرس المعادلات غير الموزونة الآتية للتفاعل الذي يحدث عندما يوضع النحاس في محلول مركّز من حمض النيتريك، كما في **الشكل 6–3**. ينتج غاز بُنّي اللون هو ثاني أكسيد النيتروجين NO_2 من اختزال أيونات النترات NO_3^-، أما المحلول الأزرق فينتج عن تأكسد النحاس Cu إلى أيون النحاس (II) Cu^{2+}.

$$Cu_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

لاحظ أن الأكسجين يظهر فقط في مادة متفاعلة واحدة هي HNO_3، ولكنه يظهر في النواتج الثلاثة جميعها، أما النيتروجين فيظهر في HNO_3 وفي اثنين من النواتج. مثل معادلة الأكسدة والاختزال هذه التي يظهر فيها العنصر نفسه في عدة مواد متفاعلة وناتجة يصعب وزنها. وكما تعلم، فعندما تفقد الذرة الإلكترونات يزداد عدد تأكسدها، وعندما تكتسب الذرة الإلكترونات يقل عدد تأكسدها. ويجب أن يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة عدد الإلكترونات المفقودة. ولذا يجب أن يكون مجموع الزيادة في عدد التأكسد مساويًا لمجموع الانخفاض في أعداد التأكسد للذرات المشتركة في التفاعل. وتسمى مثل هذه الطريقة **طريقة عدد التأكسد**، وتعتمد على المبادئ في **الجدول 4–3**.

الجدول 4-3 طريقة عدد التأكسد

حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة.
حدّد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.
اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة؛ وذلك بضبط المعاملات في المعادلة.
استعمل الطريقة التقليدية في وزن المعادلة الكيميائية الكلية، إذا كان ذلك ضروريًّا.

الشكل 6-3 من الصعب أحيانًا وزن بعض المعادلات الكيميائية كما في تفاعلات الأكسدة والاختزال بين النحاس وحمض النيتريك؛ لأن العناصر تظهر أكثر من مرة في كل جهة من المعادلة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 3-3

طريقة عدد التأكسد زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية: $Cu_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

1 تحليل المسألة

استخدم قواعد تحديد عدد التأكسد، ويجب أن تتساوى زيادة عدد التأكسد للذرات المتأكسدة مع نقصان عدد التأكسد للذرات المختزلة.

ثم اضبط المعاملات لوزن المعادلة.

2 حساب المطلوب

حدّد أعداد التأكسد للذرات كلها في المعادلة:

يزداد عدد التأكسد للنحاس من صفر إلى 2+.

ويقل عدد التأكسد للنيتروجين من 5+ إلى 4+.

$$\overset{0}{Cu}_{(s)} + \overset{+1+5-2}{HNO_3}_{(aq)} \rightarrow \overset{+2+5-2}{Cu(NO_3)}_{2(aq)} + \overset{+4-2}{NO_2}_{(g)} + \overset{+1-2}{H_2O}_{(l)}$$

حدّد أعداد التأكسد للذرات كلها في المعادلة:

Cu تأكسدت N اختزلت H لم تتغير O لم تتغير N لم تتغير في أيون النترات NO_3^-

حدّد التغيرات في عدد التأكسد لجميع الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت.

تأكسد النحاس؛ لأنه خسر إلكترونات

التغير في عدد تأكسد $Cu = +2$

اختزل النيتروجين؛ لأنه اكتسب إلكترونًا

التغير في عدد تأكسد $N = -1$

اجعل التغير في أعداد التأكسد متساويًا في القيمة؛ وذلك بضبط المعاملات في المعادلة:

لمّا كان التغير في عدد التأكسد لـ N هو -1، فإنه يجب إضافة المعامل 2

إلى الوزن. وهذا المعامل ينطبق على كل من HNO_3 و NO_2.

$$Cu_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

استعمل الطريقة التقليدية في وزن بقية المعادلة:

يجب زيادة معامل HNO_3 من 2 إلى 4 لموازنة 4 ذرات نيتروجين في النواتج.

$$Cu_{(s)} + 2HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

أُضيف المعامل 2 إلى H_2O لموازنة 4 ذرات هيدروجين في الجهة اليسرى.

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

3 تقويم الإجابة

عدد ذرات كل عنصر متساوية على جانبي المعادلة.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

15. $HCl_{(aq)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow HClO_{(aq)} + NO_{(g)} + H_2O_{(l)}$

16. $SnCl_{4(aq)} + Fe_{(s)} \rightarrow SnCl_{2(s)} + FeCl_{3(aq)}$

17. $NH_{3(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

18. تحفيز $SO_{2(g)} + Br_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow HBr_{(aq)} + H_2SO_{4(aq)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

وزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية
Balancing Net Ionic Redox Equations

يفضل الكيميائيون في بعض الأحيان التعبير عن تفاعلات الأكسدة والاختزال بأبسط ما يمكن، كما في المعادلات التي توضح عمليات الأكسدة والاختزال فقط. وبالرجوع مجددًا إلى المعادلة الموزونة لتفاعل تأكسد النحاس في محلول حمض النيتريك:

$$Cu_{(s)} + 4HNO_{3(aq)} \rightarrow Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

نلاحظ أن التفاعل يحدث في محلول مائي؛ لذا فإن HNO_3، وهو حمض قوي سوف يتأين كليًّا، كما أن نترات النحاس II $Cu(NO_3)_2$ ستتفكك إلى أيونات؛ لذا يمكن كتابة المعادلة على النحو الآتي:

$$Cu_{(s)} + 4H^+_{(aq)} + 4NO_3{}^-_{(aq)} \rightarrow$$
$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2NO_3{}^-_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

توجد أربعة أيونات من النترات في طرف المواد المتفاعلة؛ اثنان منها فقط قد تغيرا إلى ثاني أكسيد النيتروجين، وبقي الأيونان الآخران متفرجين، بحيث يمكن حذفهما من المعادلة. ولتبسيط الأمور، يكتب الكيميائيون أيونات الهيدروجين في صورة $H^+_{(aq)}$ مع الاتفاق على وجودها في صورة $H_3O^+_{(aq)}$. والآن يمكن كتابة المعادلة لبيان المواد المشتركة في التفاعل على النحو الآتي:

$$Cu_{(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2NO_3{}^-_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

والآن إذا نظرت إلى المعادلة الآتية غير الموزونة:

$$Cu_{(s)} + H^+_{(aq)} + NO_3{}^-_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$$

تلاحظ أن التفاعل نفسه يُعبر عنه بطريقة توضح فقط المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في وسط حمضي:

$$Cu_{(s)} + NO_3{}^-_{(aq)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq)} + NO_{2(g)} \quad \text{(في وسط حمضي)}$$

وفي هذه الحالة، تحذف أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء لأن أيًّا منها لم يحدث لها أكسدة أو اختزال. وتوجد في المحلول أيونات الهيدروجين H^+ وجزيئات الماء بوفرة وتستطيع المشاركة في تفاعل الأكسدة والاختزال سواء في صورة متفاعلات أو نواتج. وتحدث بعض تفاعلات الأكسدة والاختزال فقط في المحاليل القاعدية، وعند وزن معادلات هذه التفاعلات يمكنك إضافة أيونات الهيدروكسيد OH^- وجزيئات الماء إلى طرفي المعادلة.

مختبر تحليل البيانات

* مبنية على بيانات واقعية

حلّل واستنتج

كيف تعمل تفاعلات الأكسدة والاختزال على إطلاق المكوك الفضائي؟ يكتسب المكوك الفضائي 72% تقريبًا من قوة اندفاعه من صواريخ الإطلاق التي تستعمل الوقود الصلب خلال الدقيقتين الأوليين من عملية إطلاق الصاروخ، ويرتبط صاروخان على هيئة قلم الرصاص معًا من كلا الجانبين بخزان الهيدروجين السائل ووقود الأكسجين. ويحتوي كل صاروخ على 499,000 kg تقريبًا من مزيج الدفع.

البيانات والملاحظات

مزيج الدفع في صواريخ الإسناد	
المكونات	النسبة المئوية
فوق كلورات الأمونيوم	69.6
ألومنيوم	16
المادة المحفزة	0.4
الأسمنت	12.04
معامل المعالجة	1.96

أخذت هذه البيانات من:

*Dumoulin, Jim. "SolidRocketBoosters." NSTSShuttle Reference Manual. 1988

التفكير الناقد

1. **زن** استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن المعادلة الكيميائية لتفاعل صاروخ الإسناد.

$$NH_4ClO_{4(s)} + Al_{(s)} \rightarrow$$
$$Al_2O_{3(s)} + HCl_{(g)} + N_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

2. **حدّد** أي العناصر تأكسدت، وأيها اختزلت؟
3. **استدل** ما مزايا استعمال تفاعل وقود الصواريخ الصلب solid rocket boosters(SRB) في الدقيقتين الأوليين من الإطلاق؟
4. **احسب** ما عدد مولات بخار الماء الناتجة عن تفاعل واحد من (SRB)؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 4-3

وزن معادلة الأكسدة والاختزال الأيونية الكلية زن معادلة الأكسدة والاختزال الآتية:

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + Br^-{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + Br_{2(g)}$$

1 تحليل المسألة

استعمل قواعد تحديد عدد التأكسد. يجب أن تتساوى الزيادة في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت مع النقصان في عدد التأكسد للذرات التي اختزلت. يحدث التفاعل في وسط حمضي، اضبط المعاملات لوزن التفاعل.

2 حساب المطلوب

حدّد أعداد التأكسد لجميع الذرات في المعادلة.

$$\overset{+7\ -2}{ClO_4^-{}_{(aq)}} + \overset{-1}{Br^-{}_{(aq)}} \rightarrow \overset{-1}{Cl^-{}_{(aq)}} + \overset{0}{Br_{2(g)}} \quad \text{(في الوسط الحمضي)}$$

استعمل القواعد في الجدول 2-3

حدّد الذرات التي اختزلت والذرات التي تأكسدت.

ازداد عدد تأكسد البروم من 1- إلى الصفر — Br تأكسدت

نقص عدد تأكسد الكلور من 7+ إلى 1-. — Cl اختزلت

حدّد التغير في عدد التأكسد للذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت. التغير في عدد التأكسد:

ازداد عدد تأكسد البروم من 1- إلى الصفر — التغير في عدد تأكسد $Br = +1$

نقص عدد تأكسد الكلور من 7+ إلى 1-. — التغير في عدد تأكسد $Cl = -8$

اجعل التغير في قيم عدد التأكسد متساويًا، وذلك بضبط معاملات المعادلة:

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + 8Br^-{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + 4Br_{2(g)}$$

بما أن التغير في عدد التأكسد لـ Br هو 1+؛ لذا يجب أن تضيف المعامل 8 لوزن المعادلة الكيميائية. $4Br_2$ تمثل 8 ذرات Br لوزن $8Br^-$ في الجانب الأيسر.

أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء إلى المعادلة؛ لوزن ذرات الأكسجين على طرفي المعادلة:

$$ClO_4^-{}_{(aq)} + 8Br^-{}_{(aq)} + 8H^+{}_{(aq)} \rightarrow Cl^-{}_{(aq)} + 4Br_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$$

بما أنك تعرف أن التفاعل يتم في وسط حمضي، يمكنك إضافة أيونات الهيدروجين H^+ إلى طرفي المعادلة.

3 تقويم الإجابة

عددا ذرات كل عنصر متساويان في كلا طرفي المعادلة. وكما في المعادلة الأيونية فإن الشحنة الكلية في الطرف الأيمن تساوي الشحنة الكلية في الطرف الأيسر.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة عدد التأكسد في وزن المعادلات الأيونية الكلية الآتية:

19. (في الوسط الحمضي) $H_2S_{(g)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow S_{(s)} + NO_{(g)}$

20. (في الوسط الحمضي) $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + I^-{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + I_{2(s)}$

21. (في الوسط الحمضي) $Zn_{(s)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + NO_{2(g)}$

22. تحفيز: (في الوسط القاعدي) $I^-{}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow I_{2(s)} + MnO_{2(s)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الربط مع علم الأحياء فيم تشترك أسماك أعماق المحيط والذباب الناري مع البكتيريا المضيئة؟ إن هذه الأنواع من الكائنات ـ وكائنات أخرى ـ تطلق الضوء. والضوء المنبعث ما هو إلا تحويل لطاقة الوضع في الروابط الكيميائية إلى طاقة ضوئية خلال تفاعلات الأكسدة والاختزال. وينبعث الضوء بوسائل مختلفة اعتمادًا على أنواع الكائنات. ففي الذباب الناري الموضح في **الشكل 7-3**، ينتج الضوء عن تأكسد جزيئات اللوسيفيرن Luciferin. ولا يزال العلماء يكتشفون سر الإضاءة الحيوية؛ فبعض الكائنات المضيئة تطلق الضوء باستمرار، في حين تطلق الكائنات الأخرى ضوءًا عندما تتعرض للمضايقة. ويبدو أن بعض أسماك أعماق البحار وقناديل البحر لها قدرة على التحكم في الضوء الذي تطلقه.



الشكل 7-3 تُصدر بعض الكائنات الحية ضوءًا لأهداف مختلفة؛ لجذب الإناث، أو للدفاع عن الصغار. ويساعد الضوء المنبعث على الرؤية والتمييز والإدراك.

وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل
Balancing Redox Reactions Using Half–Reactions

المواد في الكيمياء هي أيّ جسيمات توجد في المعادلة؛ حيث يوجد في معادلة الاتزان الآتية: $NH_{3\,(aq)} + H_2O_{\,(l)} \rightarrow NH_{4\,(aq)}^{+} + OH_{(aq)}^{-}$

أربعة أنواع من المواد، كتالي جزيئان وهما H_2O و NH_3، وأيونان هما NH_4^+ و OH^- وتحدث تفاعلات الأكسدة والاختزال عندما توجد مواد قادرة على منح الإلكترونات (عوامل مختزلة) لمواد أخرى قريبة منها، ولها قدرة على كسب هذه الإلكترونات (عوامل مؤكسدة). فعلى سبيل المثال يمكن للحديد أن يختزل أنواعًا عدة من العوامل المؤكسدة، بما فيها الكلور. $2Fe_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \rightarrow 2FeCl_{3(aq)}$

وفي هذا التفاعل تتأكسد كل ذرة حديد بفقدها 3 إلكترونات لتصبح أيون Fe^{3+}.

وفي الوقت نفسه، فإن كل ذرة كلور في Cl_2 تختزل باكتسابها إلكترونًا واحدًا لتصبح أيون Cl^-.

الأكسدة : $Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$

الاختزال: $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$

تمثل هذه المعادلات أنصاف تفاعلات؛ حيث يُمثل كل **نصف تفاعل** أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل الأكسدة أو تفاعل الاختزال. ويبين **الجدول 5-3** التنوع في أنصاف تفاعلات الاختزال التي تتضمن تأكسد Fe إلى Fe^{3+}.

الجدول 5-3 تفاعلات الأكسدة والاختزال التي يحدث فيها تأكسد الحديد

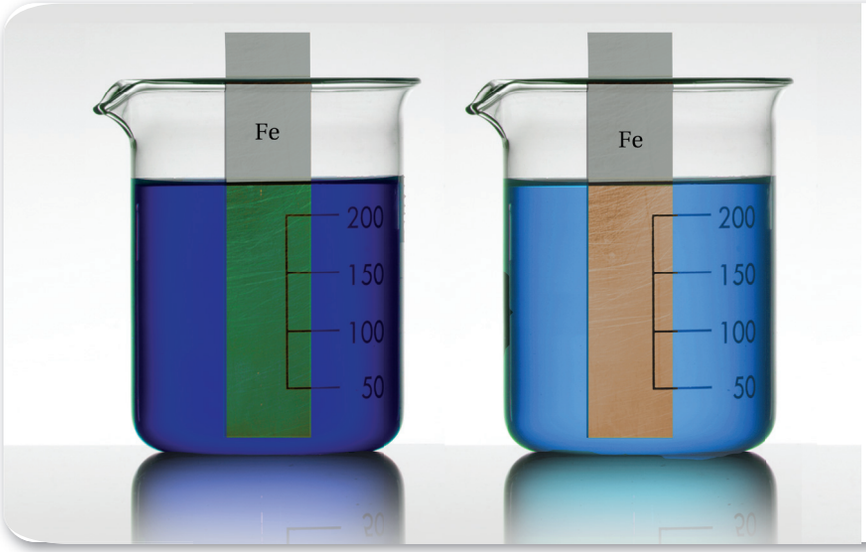
التفاعل الكلي (غير الموزون)	نصف تفاعل التأكسد	نصف تفاعل الاختزال
$Fe + O_2 \rightarrow Fe_2O_3$	$Fe \rightarrow Fe^{3+} + 3e^-$	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$
$Fe + F_2 \rightarrow FeF_3$		$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$
$Fe + HBr \rightarrow H_2 + FeBr_3$		$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
$Fe + AgNO_3 \rightarrow Ag + Fe(NO_3)_3$		$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$
$Fe + CuSO_4 \rightarrow Cu + Fe_2(SO_4)_3$		$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

تجربة عملية

حساب أعداد التأكسد

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 3-8 يترسب النحاس على الحديد نتيجة لتفاعل الأكسدة والاختزال بين الحديد ومحلول كبريتات النحاس، ويمكنك وزن المعادلة الكيميائية لهذا التفاعل بطريقة نصف التفاعل.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

المفردات

المفردات الأكاديمية

الطريقة (Method)

آلية لعمل شيء ما. يستعد الطلبة للامتحان بطرائق مختلفة.

سوف تتعلم المزيد عن أهمية أنصاف التفاعلات عند دراستك الكيمياء الكهربائية لاحقًا، ولكن في الوقت الحالي سوف نتعلم كيف تستعمل أنصاف التفاعل لوزن معادلة الأكسدة. فعلى سبيل المثال، تمثل المعادلة غير الموزونة الآتية التفاعل الذي يحدث عند وضع صفيحة من الحديد في محلول كبريتات النحاس II، كما في **الشكل 8-3**.

$$Fe_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)}$$

تتأكسد ذرات الحديد عندما تفقد الإلكترونات لأيونات النحاس II. أما خطوات وزن معادلات الأكسدة والاختزال باستخدام طريقة نصف التفاعل فهي موضحة في **الجدول 6-3**.

الجدول 6-3 طريقة نصف التفاعل

1. اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل، مهملًا الأيونات المتفرجة.

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)} + 3SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

$$Fe_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)}$$

2. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للمعادلة الأيونية الكلية.

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ $\qquad$ $Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$

3. زن الذرات والشحنات في كل نصف تفاعل.

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$ $\qquad$ $2Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$

4. زن المعادلات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال.

$3Cu^{2+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 3Cu_{(s)}$ $\qquad$ $2Fe_{(s)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^-$

5. اجمع نصفي التفاعل الموزونين، وأعد الأيونات المتفرجة.

$$2Fe_{(s)} + 3Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow 3Cu_{(s)} + 2Fe^{3+}_{(aq)}$$

$$2Fe_{(s)} + 3CuSO_{4(aq)} \rightarrow 3Cu_{(s)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 5-3

وزن معادلة الأكسدة والاختزال باستعمال طريقة نصف التفاعل

زن معادلة التأكسد والاختزال للتفاعل الآتي مستعملًا طريقة نصف التفاعل:

(في الوسط الحمضي) $KMnO_{4(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow MnSO_{4(aq)} + K_2SO_{4(aq)}$

1 تحليل المسألة

يحدث التفاعل في الوسط الحمضي، استعمل قواعد تحديد أعداد التأكسد وخطوات وزن المعادلة بطريقة نصف التفاعل لوزن معادلة التفاعل بين برمنجنات البوتاسيوم وثاني أكسيد الكبريت.

2 حساب المطلوب

اكتب المعادلة الأيونية الكلية للتفاعل.

احذف المعاملات، والأيونات المتفرجة.

$MnO_4^-{}_{(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$

اكتب معادلة نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال للمعادلة الأيونية الكلية، متضمنة أعداد التأكسد.

استخدم القواعد الواردة في الجدولين 2-3 و 3-6

(تأكسد) $SO_{2(g)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^-$

زن الذرات والشحنات في نصفي التفاعل.

$MnO_4^-{}_{(aq)} + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)}$.

تتوافر جزيئات H_2O في الوسط الحمضي بكثرة، ويمكن استخدامها في وزن ذرات الأكسجين في أنصاف التفاعل؛ وكذلك تتوافر أيونات H^+ بسهولة، ويمكن أن تستخدم في وزن الشحنة.

(تأكسد) $SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 2e^- + 4H^+{}_{(aq)}$

(اختزال) $MnO_4^-{}_{(aq)} + 5e^- + 8H^+{}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + 4H2O_{(l)}$

اضبط المعاملات على أن يكون عدد الإلكترونات المفقودة في التأكسد (2) يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة في الاختزال (5).

المضاعف المشترك الاصغر لـ 2،5 هو 10. وبالضرب التبادلي ستحصل على وزن لنصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

(تأكسد) $5SO_{2(g)} + 10H_2O_{(l)} \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 20\,H^+{}_{(aq)} + 10e^-$

(اختزال) $2MnO_4^-{}_{(aq)} + 16H^+{}_{(aq)} + 10e^- \rightarrow 2Mn^{2+}{}_{(aq)} + 8H_2O_{(l)}$

اجمع نصفي التفاعل اللذين تم وزنهما، وبسّط المعادلة بحذف أو تجميع المواد المتشابهة في طرفي المعادلة.

$5SO_{2(g)} + 10H_2O_{(l)} + 2MnO_4^-{}_{(aq)} + 16H^+{}_{(aq)} + 10e^- \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 20\,H^+{}_{(aq)} + 10e^- + 2Mn^{2+}{}_{(aq)} + 8H_2O_{(aq)}$

$5SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 2MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow 5SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4H^+{}_{(aq)} + 2Mn^{2+}{}_{(aq)}$

أعد وضع الأيونات المتفرجة (K^+)، وكذلك حالات المواد.

أضف أيونات K^+ إلى أيونات MnO_4^- في الجهة اليسرى، وأحد أيونات SO_4^{2-} إلى الجهة اليمنى. ثم وزع الأيونات المتبقية بين أيون H^+ وأيونات Mn^{2+}.

$5SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 2KMnO_{4(aq)} \rightarrow$

$K_2SO_{4(aq)} + 2H_2SO_{4(aq)} + 2MnSO_{4(aq)}$

3 تقويم الإجابة

تشير مراجعة المعادلة الموزونة إلى أن عدد ذرات كل عنصر هو نفسه في طرفي المعادلة.

مسائل تدريبية

استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

23. (في الوسط الحمضي) $Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + I^-{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + I_{2(s)}$

24. (في الوسط الحمضي) $Mn^{2+}{}_{(aq)} + BiO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow MnO_4^-{}_{(aq)} + Bi^{3+}{}_{(aq)}$

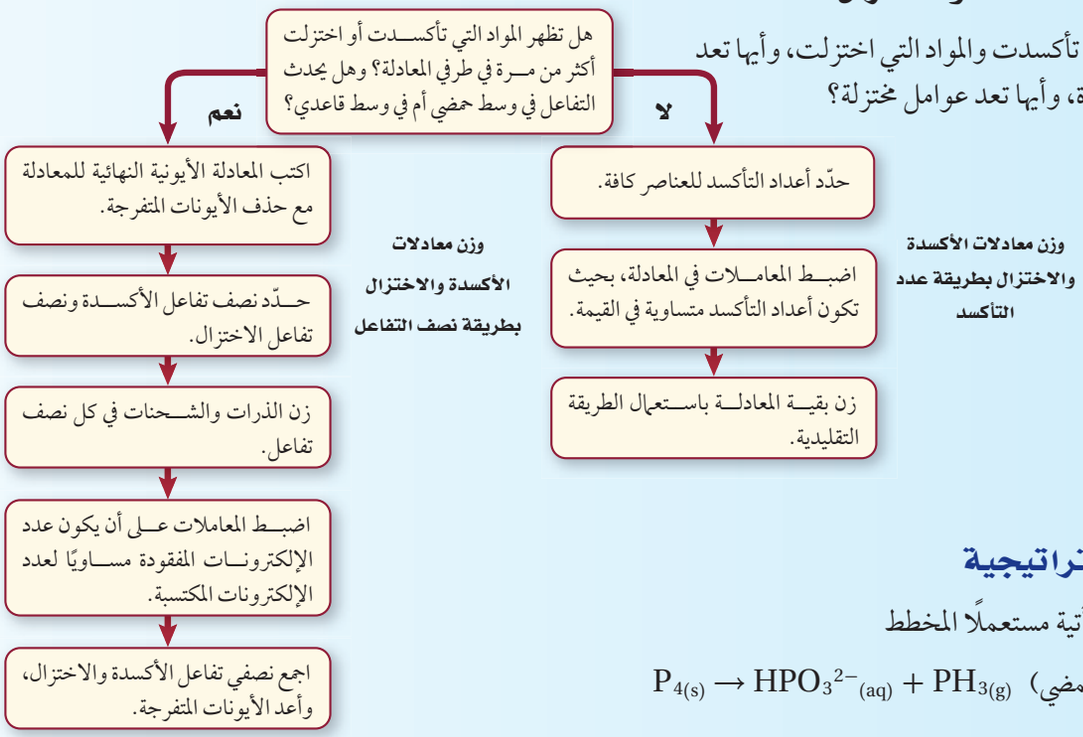
25. تحفيز (في الوسط القاعدي) $N_2O_{(g)} + ClO^-{}_{(aq)} \rightarrow NO_2^-{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

استراتيجية حل المسألة

وزن معادلات الأكسدة والاختزال

حدّد المواد التي تأكسدت والمواد التي اختزلت، وأيها تعد عوامل مؤكسدة، وأيها تعد عوامل مختزلة؟



طبق الاستراتيجية

زن المعادلة الآتية مستعملًا المخطط

(في الوسط الحمضي) $P_{4(s)} \rightarrow HPO_3{}^{2-}{}_{(aq)} + PH_{3(g)}$

التقويم 3-2

الخلاصة

- يصعب وزن معظم معادلات الأكسدة والاختزال باستعمال الطريقة التقليدية.
- تعتمد طريقة عدد التأكسد على مساواة عدد الإلكترونات المفقودة من الذرات بعدد الإلكترونات المكتسبة من قبل ذرات أخرى.
- لوزن معادلات التفاعلات في الوسط الحمضي، أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء.
- أضف عددًا كافيًا من أيونات الهيدروكسيد وجزيئات الماء، لوزن معادلات التفاعلات في الوسط القاعدي.
- نصف التفاعل هو أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال.

26. الفكرة الرئيسة **فسّر** كيف يرتبط التغير في عدد التأكسد بعمليات الأكسدة والاختزال؟

27. صف لماذا يُعدّ من المهم معرفة الظروف التي يتم فيها تفاعل الأكسدة والاختزال في المحلول المائي بهدف وزن معادلة التفاعل؟

28. فسّر خطوات طريقة عدد التأكسد لوزن المعادلة.

29. حدّد ماذا يوضح نصف تفاعل التأكسد؟ وماذا يوضح نصف تفاعل الاختزال؟

30. اكتب نصف تفاعل الأكسدة ونصف تفاعل الاختزال لتفاعل الأكسدة والاختزال الآتي: $Pb_{(s)} + Pd(NO_3)_{2(aq)} \rightarrow Pb(NO_3)_{2(aq)} + Pd_{(s)}$

31. حدّد إذا كان نصف تفاعل الأكسدة هو $Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^-$ ونصف تفاعل الاختزال هو $Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$، فما أقل عدد من أيونات القصدير II وأيونات الذهب III يمكن أن تتفاعل حتى لا يتبقى إلكترونات؟

32. طبق زن المعادلات الآتية:

a. $HClO_{3(aq)} \rightarrow ClO_{2(g)} + HClO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$

b. $H_2SeO_{3(aq)} + HClO_{3(aq)} \rightarrow H_2SeO_{4(aq)} + Cl_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

c. (في الوسط الحمضي) $Cr_2O_7{}^{2-}{}_{(aq)} + Fe^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Cr^{3+}{}_{(aq)} + Fe^{3+}{}_{(aq)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

في الميدان

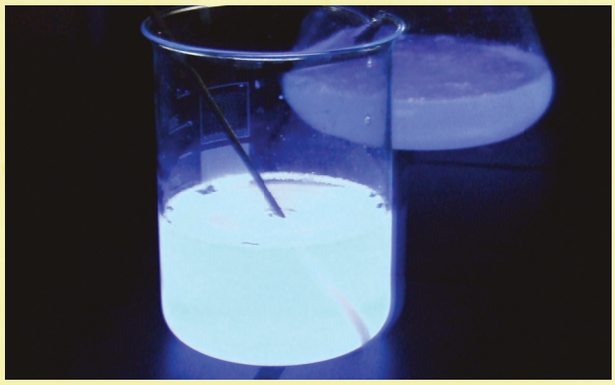
المهنة: محقق البحث الجنائي

الدم المضيء Blood That Glows

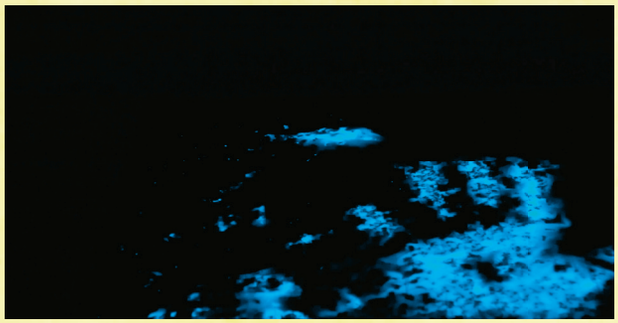
في الطب الشرعي الحديث يمكن استخدام مادة كيميائية تسمى "اللومينول"؛ حيث تتيح للمحققين القدرة على رؤية الآثار.

الأثر الأزرق المخضر Blue-green whisper يتأكسد اللومينول عندما يلامس الحديد، كما في **الشكل 1** . وتنتج في هذه العملية جزيئات الطاقة في صورة ضوء أزرق مخضر واضح، ويظهر الوهج الباهت الأزرق للومينول في الغرفة المظلمة للمحققين عند وجود آثار الدماء غير الظاهرة، وهي ما لا يمكن رؤيته بالعين المجردة. حيث تتكون خلايا الدم بشكل أساسي من الهيموجلوبين، وهو بروتين يحتوي على حديد.

ولاستخدام اللومينول، يلجأ المحققون إلى مزج مسحوق أبيض $C_8H_7N_3O_2$ بفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وكيماويات أخرى؛ مما يجعل من المزيج سائلًا يمكن أن يُنشر في المنطقة التي يتوقع أن تحتوي على كمية ضئيلة من الآثار فيجعلها تتوهج. يقوم المصور الفوتوجرافي للطب الشرعي بالتقاط صور فوتوجرافية سريعة بكاميرات خاصة يمكنها التقاط كل من الوهج الخافت للومينول والمنطقة المضيئة من حولها.



شكل 1 يتأكسد اللومينول في الكأس عند إضافة مسمار من الحديد.



شكل 2 يمكن مقارنة مظهر اللومينول من مسرح الجريمة ببصمات يد المتهم.

الأدلة المتوهّجة Glowing evidence يمكن أن تكشف بقع الدم عن أنماط البقع، معطية دلائل حول نوعية السلاح المستخدم في إتمام الجريمة. إذ يمكن أن يُرشِد وهج اللومينول على السجاد المحققين حول بقع الدم. كما قد تدل البصمات الدموية في **الشكل 2** على المجرم.

وهناك آخرون يستخدمون اللومينول غير المحققين؛ ففي حوادث السيارات، يمكن أن يكشف اللومينول ما إذا كان المهاجم مرتديًا حزام الأمان أم لا، حتى لو صدمت السيارة في أثناء المطر، أو البرد، أو كانت متعرضة لأشعة الشمس المباشرة التي قد تغير بقع الدم.

رذاذ الحل الأخير Spray of last resort هناك مواد أخرى تحتوي على الحديد، بالإضافة إلى الدم، وتجعل اللومينول يتوهج، ويمكن للخبراء فقط معرفة الاختلافات. والأكثر أهمية أن اللومينول يمكن أن يتداخل مع اختبارات أخرى؛ ولهذا السبب لا يلجأ رجال التحقيق إلى استخدام اللومينول حتى يكملوا جميع اختباراتهم الأخرى.

الكتابة في الكيمياء

صحيفة الأخبار اكتب مقالة لصحيفة الأخبار تصف فيها كيف يقود اللومينول المحققين إلى الاشتباه بالمجرمين. صف نوع الإثبات المستخدم في التحقيق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر الكيمياء

تعرّف شاحنة متهالكة (قديمة)

الخلفية النظرية هناك شيء ما يتفاعل مع المعادن التي توجد على أجسام العديد من القوارب في النهر المجاور لشاحنة متهالكة (قديمة). وقد ربط المحقق ذلك بثلاثة أسباب محتملة، ترتبط بثلاثة ملوّثات كيميائية. ومهمتك أن تختبر هذه الملوثات وتقارنها بعينة من النهر. والحيوانات التي تعتمد على مياه النهر بوصفها مصدرًا أساسيًّا لها، تحتاج إلى مساعدتك لحل لغز الشاحنة المتهالكة ومن ثم معرفة الملوثات الحقيقية لمياه النهر.

سؤال كيف يمكن استخدام سلسلة تفاعلات كيميائية في تحديد طبيعة الشيء الذي يؤدي إلى تلويث مصدر المياه؟

المواد الكيميائية والأدوات اللازمة

$0.1\ M\ AgNO_3$	برادة Fe
$0.1\ M\ HCl$	شريط Mg
$0.1\ M\ ZnSO_4$	ملقط
محلول مجهول المكونات	قطارة عدد (4)
أسلاك نحاس	طبق تفاعلات بلاستيكي 24 فجوة
حبيبات Pb صلبة	

إجراءات السلامة

تحذير: تُعد نترات الفضة $AgNO_3$ مادة شديدة السميّة، وتؤدي إلى تكوّن البقع على الجلد والملابس.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. صمّم جدولًا لتسجيل بياناتك.
3. ضع طبق التفاعلات البلاستيكي على ورقة بيضاء.
4. ضع قطعة من أسلاك النحاس في أربع فجوات من الصف الأول.
5. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة عينات صغيرة من الحديد إلى أربع فجوات في الصف الثاني.
6. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة عينات صغيرة من الرصاص إلى أربع فجوات في الصف الثالث.
7. كرر الخطوة 4، وذلك بإضافة قطع من شريط الماغنسيوم إلى أربع فجوات في الصف الرابع.
8. ضع 20 قطرة من محلول نترات الفضة $AgNO_3$ في كل فجوة من العمود الأول.
9. كرر الخطوة 8، بإضافة حمض الهيدروكلوريك HCl إلى العمود الثاني.

الملاحظات				
	$AgNO_3$	HCl	$ZnSO_4$	محلول مجهول
Cu				
Pb				
Fe				
Mg				

10. كرر الخطوة 8 بإضافة محلول كبريتات الخارصين $ZnSO_4$ إلى العمود الثالث.
11. كرر الخطوة 8، بإضافة المحلول المجهول إلى العمود الرابع.
12. اسمح باستمرار التفاعلات مدة خمس دقائق، ثم صفها، واكتب "لا تفاعل" لأي حجرة لم يكن هناك دليل على حدوث تفاعل فيها.
13. **التنظيف والتخلص من النفايات** تخلص من النفايات الصلبة والمحاليل كما يرشدك المعلم، واغسل المواد والأدوات، وأعدها إلى أماكنها.

التحليل والاستنتاج

1. **لخص** النتائج التي لاحظتها في كل فجوة. كيف عرفت بحدوث تفاعل كيميائي؟
2. **اعمل نموذجًا** اكتب معادلة تفاعل موزونة لكل تفاعل شاهدته، وحدد في كل معادلةٍ الموادَّ التي تأكسدت والمواد التي اختزلت.
3. **استنتج** استنادًا لبياناتك، أي المحاليل أكثر تلويثًا للمياه؟ فسر إجابتك.
4. **استخدم** المتغيرات والثوابت والضوابط لماذا كان مهمًّا مقارنة التفاعلات للمحلول المجهول مع أكثر من محلول معروف واحد؟
5. **ابحث** اكتب تقريرًا حول أهمية الكيماويات التي توجد في النظام البيئي.
6. **توسع** ماذا تتوقع إذا كان محلول نترات الرصاص II $Pb(NO_3)_2$ أحد المحاليل المستعملة؟
7. **تحليل الخطأ** قارن إجابتك بإجابات الطلبة الآخرين في المختبر. فسِّر وجود أي من الفروق.

الاستقصاء

صمّم تجربة ضع فرضية حول الطريقة التي يمكنك بها إزالة الكيماويات من مصادر المياه دون إلحاق أذًى إضافي بالبيئة والمنطقة المحيطة بها، ثم صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تعدّ تفاعلات الأكسدة والاختزال من العمليات الكيميائية الشائعة في الطبيعة وفي الصناعة، وتتضمّن انتقالاً للإلكترونات.

3-1 الأكسدة والاختزال

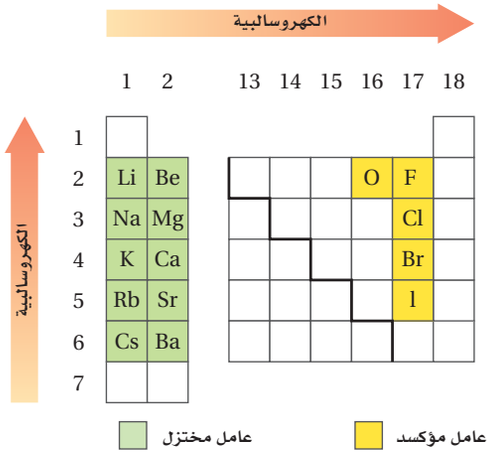
الفكرة الرئيسة يعدُّ تفاعلا الأكسدة والاختزال تفاعلين متكاملين؛ إذ تتأكسد ذرة وتُختزل أخرى.

المفردات

- تفاعل الأكسدة والاختزال
- الأكسدة
- الاختزال
- العامل المؤكسد
- العامل المختزل

المفاهيم الرئيسة

- تتضمن تفاعلات الأكسدة والاختزال انتقال الإلكترونات من ذرة إلى أخرى.
- عندما تختزل ذرة أو أيون فإن عدد التأكسد ينخفض، وعندما تتأكسد ذرة أو أيون فإن عدد التأكسد يزداد.
- تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية العالية، في تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تتضمن مركبات جزيئية (والأيونات المتعددة الذرات التي تحتوي على روابط تساهمية) كما لو اختزلت، في حين تُعامل الذرات ذات الكهروسالبية المنخفضة كما لو تأكسدت.



3-2 وزن معادلات الأكسدة والاختزال

الفكرة الرئيسة تصبح معادلات الأكسدة والاختزال موزونةً عندما تكون الزيادة الكلية في أعداد التأكسد مساويةً للانخفاض الكلي في أعداد التأكسد للذرات الداخلة في التفاعل.

المفردات

- طريقة عدد التأكسد
- نصف التفاعل

المفاهيم الرئيسة

- يصعب وزن معادلات الأكسدة والاختزال التي يظهر فيها العنصر نفسه في كل من المواد المتفاعلة والناتجة باستعمال الطريقة التقليدية.
- تعتمد طريقة عدد التأكسد على مساواة عدد الإلكترونات التي تفقد من الذرات مع عدد الإلكترونات التي تكتسب من ذرات أخرى.
- تُضاف أيونات الهيدروجين وجزيئات الماء لوزن معادلات التفاعلات في الوسط الحمضي.
- تُضاف أيونات الهيدروكسيد وجزيئات الماء لوزن معادلات التفاعلات في الوسط القاعدي.
- نصف التفاعل هو أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

3-1

إتقان المفاهيم

33. ما أهم خواص تفاعلات الأكسدة والاختزال؟

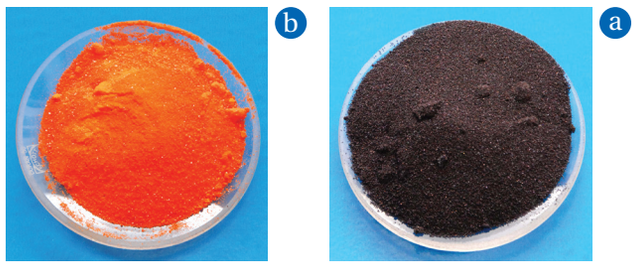
34. فسر، لماذا لا تتضمن جميع تفاعلات الأكسدة الأكسجين؟

35. ماذا يحدث للإلكترونات في الذرة عندما تتأكسد، أو تختزل؟

36. عرّف عدد التأكسد.

37. ما عدد التأكسد لكل من الفلزات القلوية الأرضية والفلزات القلوية في مركباتها؟

38. كيف يرتبط عدد التأكسد في عمليات التأكسد بعدد الإلكترونات المفقودة؟ وكيف يرتبط عدد التأكسد في عمليات الاختزال بعدد الإلكترونات المكتسبة؟



الشكل 9-3

39. ما سبب الاختلاف في أشكال خراطة النحاس الموضحة في **الشكل 9-3**؟

40. النحاس والهواء تبدأ أواني النحاس في الظهور بلون أخضر بعد تعرضها للهواء. ويتفاعل فلز النحاس في عملية الأكسدة هذه مع الأكسجين لتكوين أكسيد النحاس الصلب، والذي يكوّن الغطاء الأخضر. اكتب تفاعل الأكسدة والاختزال، وعرّف ما الذي تأكسد، وما الذي اختزل في هذه العملية.

إتقان حل المسائل

41. حدّد المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $2Br_{2(l)} + 2Ga_{(s)} \rightarrow 2GaBr_{3(s)}$

b. $2HCl_{(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow ZnCl_{2(g)} + H_{2(g)}$

c. $3Mg_{(s)} + N_{2\,(g)} \rightarrow Mg_3N_{2(s)}$

42. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل من معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $N_{2\,(g)} + 3H_{2(g)} \rightarrow 2NH_{3(g)}$

b. $2Na_{(s)} + I_{2(s)} \rightarrow 2NaI_{(s)}$

43. ما العامل المختزل في المعادلة الموزونة الآتية؟

$$8H^+_{(aq)} + Sn_{(s)} + 6Cl^-_{(aq)} + 4NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow SnCl_6^{-2}{}_{(aq)} + 4NO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$$

44. ما عدد التأكسد للمنجنيز في $KMnO_4$؟

45. حدّد عدد التأكسد للعنصر الظاهر باللون الداكن في المواد والأيونات الآتية:

a. $CaCrO_4$ **c.** NO_2^-

b. $NaHSO_4$ **d.** BrO_3^-

46. حدّد أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة، وأيها اختزال؟

a. $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

b. $Cu^{2+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Cu^+_{(aq)}$

47. أي المعادلات الآتية لا تمثل تفاعل أكسدة واختزال؟ فسر إجابتك.

a. $LiOH_{(s)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow LiNO_{3\,(s)} + H_2O_{\,(l)}$

b. $MgI_{2\,(s)} + Br_{2\,(l)} \rightarrow MgBr_{2\,(s)} + I_{2\,(s)}$

48. حدّد عدد التأكسد للنيتروجين في كل من الجزيئات أو الأيونات الآتية:

a. NO_3^- **b.** N_2O **c.** NF_3

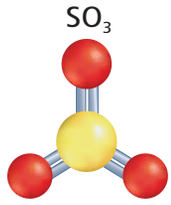
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 3

49. حدّد أعداد التأكسد لكل عنصر في المركبات أو الأيونات الآتية:

a. $Au_2(SeO_4)_3$ سيلينات الذهب III

b. $Ni(CN)_2$ سيانيد النيكل II



الشكل 10–3

50. فسّر كيف يختلف أيون الكبريتيت SO_3^{2-} عن ثالث أكسيد الكبريت SO_3، الموضح في **الشكل 10–3**؟

3-2

إتقان المفاهيم

51. قارن بين معادلة الأكسدة والاختزال الموزونة في الوسط الحمضي والوسط القاعدي.

52. فسر لماذا تعد كتابة أيون الهيدروجين على هيئة H^+ في تفاعلات الأكسدة والاختزال تبسيطًا للواقع.

53. لماذا يتعين عليك قبل أن تبدأ بوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال معرفة ما إذا كان التفاعل يحدث في وسط حمضي أو قاعدي؟

54. فسّر ما الأيون المتفرج؟

55. عرّف مصطلح أنواع المواد بدلالة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

56. هل المعادلة الآتية موزونة؟ فسر إجابتك.

$$Fe_{(s)} + Ag^+_{(aq)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + Ag_{(s)}$$

57. هل المعادلة الآتية تمثل عملية أكسدة أم عملية اختزال؟ فسّر إجابتك.

$$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$$

58. صف ما يحدث للإلكترونات في كل نصف تفاعل من عملية الأكسدة والاختزال.

إتقان حل المسائل

59. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $Cl_{2\,(g)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(s)} + HOCl_{(aq)}$

b. $HBrO_{3\,(g)} \rightarrow Br_{2\,(l)} + H_2O_{(l)} + O_{2\,(g)}$

60. زن المعادلات الأيونية الكلية لتفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $Au^{3+}_{(aq)} + I^-_{(aq)} \rightarrow Au_{(s)} + I_{2(s)}$

b. $Ce^{4+}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)} \rightarrow Ce^{3+}_{(aq)} + Sn^{4+}_{(aq)}$

61. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية:

a. $Al + I_2 \rightarrow Al^{3+} + I^-$

b. $MnO_2 + Br^- \rightarrow Mn^{2+} + Br_2$ (في الوسط الحمضي)

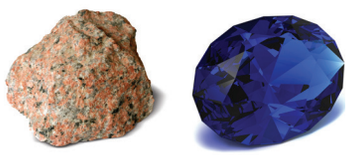
62. استعمل طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $PbS_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow PbO_{(s)} + SO_{2\,(g)}$

b. $NaWO_{3(s)} + NaOH_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow Na_2WO_4 + H_2O_{(g)}$

c. $NH_{3\,(g)} + CuO_{(s)} \rightarrow Cu_{(s)} + N_{2\,(g)} + H_2O_{\,(g)}$

d. $Al_2O_{3\,(s)} + C_{(s)} + Cl_{2(g)} \rightarrow AlCl_{3\,(s)} + CO_{(g)}$



الشكل 11–3

63. الياقوت يتكون معدن الكورنديوم من أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وهو عديم اللون، ويعد أكسيد الألومنيوم المكون الرئيس للياقوت، إلا أنه يحتوي على مقادير بسيطة من Fe^{2+} و Ti^{4+}. ويعزى لون الياقوت إلى انتقال الإلكترونات من Fe^{2+} إلى Ti^{4+}. استنادًا إلى **الشكل 11–3**، استنتج التفاعل الذي يحدث لينتج المعدن في الجهة اليمنى، وحدد العامل المؤكسد، والعامل المختزل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 3

64. اكتب نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال في كل من معادلات الأكسدة والاختزال الآتية على الصورة الأيونية إذا حدث في المحلول المائي:

a. $PbO_{(s)} + NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)} + Pb$

b. $I_{2(s)} + Na_2S_2O_{3(aq)} \rightarrow Na_2S_2O_{4(aq)} + NaI$

c. $Sn_{(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow SnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

65. اكتب نصفي التفاعل اللذين يكوّنان معادلة الأكسدة والاختزال الموزونة الآتية:

$$3H_2C_2O_{4\,(l)} + 2HAsO_{2\,(aq)} \rightarrow 6CO_{2\,(g)} + 2As_{\,(s)} + 4H_2O_{\,(l)}$$

66. أي أنصاف التفاعلات الآتية أكسدة، وأيها اختزال؟

a. $Fe^{2+}_{(aq)} \rightarrow Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$

b. $MnO_4^-{}_{(aq)} + 5e^- + 8H^+_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{\,(l)}$

c. $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2\,(g)}$

d. $F_{2\,(g)} \rightarrow 2F^-_{(aq)} + 2e^-$



الشكل 12-3

67. النحاس عندما توضع شرائح النحاس في محلول نترات الفضة كما في **الشكل 12-3** يبدو فلز الفضة أزرق اللون، وتتكون نترات النحاس II. اكتب المعادلة الكيميائية غير الموزونة، ثم حدد حالة التأكسد لكل عنصر فيها. اكتب أيضًا نصفي معادلة التفاعل، وحدّد أيهما تأكسد، وأيهما اختزل. وأخيرًا اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة للتفاعل.

68. استخدم طريقة عدد التأكسد لوزن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية:

a. $MoCl_{5\,(s)} + S^{2-}_{(aq)} \rightarrow MoS_{2\,(s)} + Cl^-_{(aq)} + S_{(s)}$

b. $TiCl_6^{2-}{}_{(aq)} + Zn_{\,(s)} \rightarrow Ti^{3+}_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Zn^{2+}_{\,(aq)}$

69. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلات تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية، مضيفًا جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) إذا تطلب الأمر ذلك:

a. $NH_{3(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)}$

b. $Br_{2\,(l)} \rightarrow Br^-_{(aq)} + BrO_3^-{}_{(aq)}$ (في الوسط القاعدي)

70. زن معادلة التأكسد والاختزال الآتية، وأعد كتابتها بشكلها الأيوني الكامل، ثم اشتق المعادلة الأيونية الكلية، وزنها بطريقة نصف التفاعل. على أن تكون الإجابة النهائية بمعاملات الوزن ولكن على النحو الآتي:

$$KMnO_{4(aq)} + FeSO_{4(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow$$
$$Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + MnSO_{4(aq)} + K_2SO_{4(aq)} + H_2O_{(l)}$$

71. استخدم طريقة عدد التأكسد في وزن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a. $PbO_{(s)} + NH_{3(g)} \rightarrow N_{2(g)} + H_2O_{(l)} + Pb_{(s)}$

b. $I_{2(s)} + Na_2S_2O_{3(aq)} \rightarrow Na_2S_2O_{4(aq)} + NaI_{(aq)}$

c. $Sn_{(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow SnCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$

72. استخدم طريقة نصف التفاعل في وزن هذه المعادلات مضيفًا جزيئات الماء وأيونات الهيدروجين (في الوسط الحمضي)، أو أيونات الهيدروكسيد (في الوسط القاعدي) عند الحاجة. واحتفظ بالمعادلات الموزونة في صورة معادلة أيونية نهائية:

a. $Cl^-_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow ClO^-_{(aq)} + NO_{(g)}$
(في الوسط الحمضي)

b. $IO_3^-{}_{(aq)} + Br^-_{(aq)} \rightarrow Br_{2(l)} + IBr_{(s)}$
(في الوسط الحمضي)

c. $I_{2(s)} + Na_2S_2O_{3(aq)} \rightarrow Na_2S_2O_{4(aq)} + NaI_{(aq)}$
(في الوسط الحمضي)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

3 تقويم الفصل

مراجعة عامة

73. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر من العناصر الظاهرة بلون داكن:

a. OF_2 **b.** UO_2^{2+} **c.** RuO_4 **d.** Fe_2O_3

74. حدّد كلًّا من التغيرات الآتية إذا كانت أكسدة أو اختزال:

a. $2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$

b. $Na_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + e^-$

c. $Ca^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ca_{(s)}$

d. $O_{2(g)} + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}_{(aq)}$

75. استعمل قواعد تحديد عدد التأكسد لإكمال **الجدول 7–3**.

الجدول 7 – 3 بيانات المركبين

العنصر	عدد التأكسد	القاعدة
K in KBr	+1	
Br in KBr		8
Cl in Cl_2		1
K in KCl		7
Cl in KCl	−1	
Br in Br_2	0	

76. حدد العوامل المختزلة في المعادلات الآتية:

a. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(l)}$

b. $Na_2SO_{4(aq)} + 4C_{(s)} \rightarrow Na_2S_{(s)} + 4CO_{(g)}$

c. $4IrF_{5(aq)} + Ir_{(s)} \rightarrow 5IrF_{4\,(s)}$

77. اكتب معادلة أيونية موزونة مستعملًا أزواج أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية:

a.

$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

$Te^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Te_{(s)}$

b.

$IO_4^-{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow IO_3^-{}_{(aq)}$

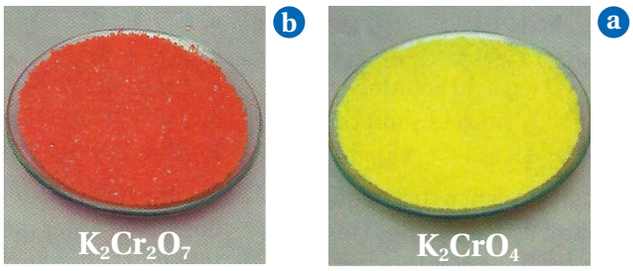
$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ (في الوسط الحمضي)

c.

$I_{2(aq)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$

$N_2O_{(g)} \rightarrow 2NO_3^-{}_{(aq)} + 8e^-$ (في الوسط القاعدي)

78. ما عدد تأكسد الكروم في كل من المركبات الموضحة في **الشكل 13–3**؟



الشكل 13–3

79. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأي طريقة من طرائق وزن المعادلات.

a. $Sb^{3+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)} \rightarrow SbO_4^{3-}{}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

b. $N_2O_{(g)} + ClO^-_{(aq)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + NO_2^-{}_{(aq)}$ (في الوسط القاعدي)

80. **الأحجار الكريمة** الياقوت حجر كريم يتكون من أكسيد الألومنيوم، أما لونه الأحمر فقد جاء من احتوائه على مقادير ضئيلة من أيونات الكروم III التي تحل محل أيونات الألومنيوم. ارسم تركيب أكسيد الألومنيوم، ووضح التفاعل الذي تحل فيه أيونات الكروم محل أيونات الألومنيوم. هل هذا التفاعل تفاعل تأكسد واختزال؟

81. زن معادلات الأكسدة والاختزال الأيونية الآتية بأي طريقة من طرائق الوزن:

a. $Mg_{(s)} + Fe^{3+}_{(aq)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + Fe_{(s)}$

b. $ClO_3^-{}_{(aq)} + SO_{2(g)} \rightarrow Cl^-_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ (في الوسط الحمضي)

82. زن معادلات الأكسدة والاختزال الآتية بأي طريقة من طرائق الوزن:

a. $P_{(s)} + H_2O_{(l)} + HNO_{3(aq)} \rightarrow H_3PO_{4(aq)} + NO_{(g)}$

b. $KClO_{3(aq)} + HCl_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + ClO_{2(g)} + H_2O_{(l)} + KCl_{(s)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 3

التفكير الناقد

83. **طبّق** تبين المعادلات الآتية تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تستخدم لتحضير غاز النيتروجين النقي وغاز ثاني أكسيد النيتروجين وغاز أول أكسيد النيتروجين N_2O في المختبر:

$$NH_4NO_{2(s)} \rightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$
$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow N_2O_{(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

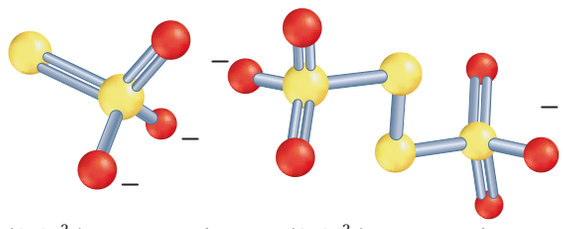
a. حدّد عدد التأكسد لكل عنصر في المعادلتين، ثم ارسم مخططًا توضح فيه التغير في عدد التأكسد الذي يحدث في كل تفاعل.

b. حدّد الذرة التي تأكسدت والذرة التي اختزلت في كلا التفاعلين.

c. حدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل لكلا التفاعلين.

d. اكتب جملة توضح فيها كيفية انتقال الإلكترونات الذي حدث في هذين التفاعلين عن التفاعل الآتي:

$$2AgNO_{3(aq)} + Zn_{(s)} \rightarrow Zn(NO_3)_{2(aq)} + 2Ag_{(s)}$$



الشكل 14–3

84. **حلّل** ادرس المعادلة الأيونية الكلية أدناه، للتفاعل الذي يحدث عند تأكسد أيون الثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$ إلى أيون رابع ثيونات $S_4O_6^{2-}$. زن المعادلة مستعملًا طريقة نصف التفاعل. وسوف يساعدك **الشكل 14–3** على تحديد أعداد التأكسد لاستعمالها.

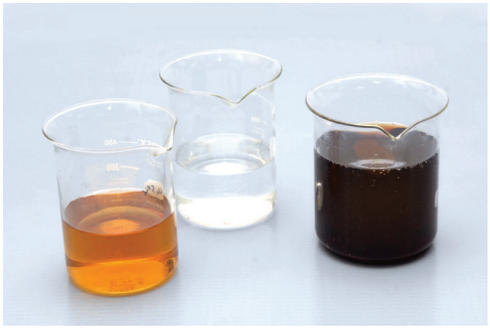
(في الوسط الحمضي) $S_2O_3^{2-}{}_{(aq)} + I_{2(s)} \rightarrow I^-_{(aq)} + S_4O_6^{2-}{}_{(aq)}$

85. **توقع** اعتبر أن جميع المركبات الآتية مركبات مستقرة حقيقة. ما الذي يمكنك أن تستدل عليه عن حالة التأكسد للفوسفور في مركباته؟

PH_3, PCl_3, P_2H_4, PCl_5, H_3PO_4, Na_3PO_3

86. **جد الحل** تؤكسد برمنجنات البوتاسيوم أيونات الكلوريد لتكون غاز الكلور وأيون منجنيز Mn^{2+}. قم بموازنة معادلة تفاعل التأكسد والاختزال الذي يحدث في الوسط الحمضي.

87. في نصف التفاعل $NO_3^- \rightarrow NH_4^+$، في أي الطرفين يجب إضافة الإلكترونات؟ قم بإضافة العدد الصحيح من الإلكترونات للطرف الذي يحتاج إلى لذلك، ثم أعد كتابة المعادلة.



الشكل 15–3

88. استعمل طريقة نصف التفاعل لوزن معادلة تفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بين أيونات الدايكرومات وأيونات اليوديد في الوسط الحمضي، والذي يوضحه **الشكل 15–3**.

مسألة تحفيز

89. اكتب المعادلة الكيميائية لكل تفاعل موصوف فيما يأتي دون كتابة المعاملات لوزنها، ثم حدد حالة التأكسد لكل عنصر في المعادلة. ثم اكتب نصفي التفاعل محددًا أيهما نصف تفاعل أكسدة وأيهما نصف تفاعل اختزال.

a. عند وضع أكسيد الزئبق (II) الصلب في أنبوب وتسخينه بلطف يتكون الزئبق السائل في قاع أنبوب الاختبار وتتصاعد فقاعات غاز الأكسجين من أنبوب الاختبار.

b. عند وضع قطع من النحاس الصلب في محلول نترات الفضة، تتكون نترات النحاس II الأزرق ويظهر فلز الفضة في المحلول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 3

مراجعة تراكمية

استخدم القائمة الآتية للإجابة عن الأسئلة من 90 إلى 93.

تحتوي خمس كؤوس على 500 mL من محلول مائي تركيزه 0.250 M على المواد الكيميائية الآتية:

A. KCl

B. CH_3OH

C. $Ba(OH)_2$

D. CH_3COOH

E. NaOH

90. أي المواد ستتفكك إلى أكبر عدد من الجسيمات عندما تكون في المحلول؟

91. أي المواد لها أكبر كتلة مولية؟

92. أي الكؤوس يمكن أن تحتوي على 9.32g من المادة الكيميائية؟

93. أي الكؤوس تتكون محتوياته من 18.6% أكسجين؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

94. **الفولاذ** ابحث عن دور تفاعلات الأكسدة والاختزال في صناعة الفولاذ، واكتب ملخصًا للنتائج التي حصلت عليها متضمنًا الرسوم المناسبة والمعادلات التي تمثل التفاعلات.

95. **الأواني الفضية** اكتب طريقة لتنظيف الأواني الفضية من الملوّثات الناتجة عن عمليات الأكسدة والاختزال. وتأكد من تضمين ذلك معلومات نظرية تصف فيها العملية في خطوات متسلسلة تجعل أي شخص قادرًا على تنفيذ هذه المهمة.

96. **النحاس** كان النحاس فلزًّا مهمًّا قبل استخلاص فلزات الحديد والفضة والذهب خاصة، واستعمال خاماتها في صناعة الأدوات والأواني والمجوهرات والأعمال الفنية. وكان يصهر بتسخين خاماته مع الفحم إلى درجة حرارة عالية كما كان الحال قبل 8000 سنة. قارن بين عمليات استخراج النحاس واستعمالاته في الحضارات القديمة والآن.

أسئلة المستندات

أعمال الزجاج تتأثر الألوان المتكونة في زجاج السيراميك كما في **الشكل 16–3** بدرجة حرارة التسخين؛ حيث تُكسب الأيوناتُ الفلزية النحاسَ الذي له أكثر من حالةِ أكسدةٍ ألوانًا مختلفة عند تسخينه. تتوافر كميات كبيرة من الأكسجين في أثناءعمليات الحرق مما يجعل أيونات النحاس الموجودة في الزجاج تلون اللهب باللون الأخضر المائل إلى الزرقة. وفي حالة الاختزال يوجد الأكسجين بكميات قليلة، وتزداد كمية ثاني أكسيد الكربون مما يجعل أيونات النحاس في الزجاج تميل إلى اللون الأحمر.



الشكل 16–3

97. اكتب معادلة لما يحدث في الآنية الخزفية الموضحة في **الشكل 16–3**.

98. استنادًا إلى لون آنية النحاس الخزفية، أيهما أكثر ميلاً للتأكسد، وأيهما أكثر ميلاً للاختزال؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي لا يعد عاملًا مختزلاً في تفاعل الأكسدة والاختزال؟

a. المادة التي تأكسدت
b. مستقبل الإلكترون
c. المادة الأقل كهروسالبية
d. مانح الإلكترون

التفاعل بين النيكل وكلوريد النحاس II موضح على النحو الآتي:

$$Ni_{(s)} + CuCl_{2(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + NiCl_{2(aq)}$$

استعمل المعادلة الكيميائية في الإجابة عن السؤالين 2 و3.

2. ما نصفا تفاعل الأكسدة والاختزال للتفاعل؟

a. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-, Cl2_{(g)} \rightarrow 2Cl^-_{(aq)} + 2e^-$
b. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + e^-, Cu^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Cu_{(s)}$
c. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-, Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$
d. $Ni_{(s)} \rightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-, 2Cu^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

3. العامل المختزل في المعادلة هو:

a. $NiCl_2$
b. Cu
c. $CuCl_2$
d. Ni

4. رقم التأكسد للكلور في $HClO_4$ هو:

a. +7
b. +5
c. +3
d. +1

5. العنصر الأعلى كهروسالبية بين العناصر الآتية هو:

a. Cl
b. N
c. O
d. F

6. المادة التي عدد تأكسدها يساوي صفرًا هي:

a. Cu^{2+}
b. H_2
c. SO_3^{2-}
d. Cl^-

7. التفاعل بين يوديد الصوديوم والكلور موضح على النحو الآتي:

$$2NaI_{(aq)} + Cl_{2(aq)} \rightarrow 2NaCl_{(aq)} + I_{2(aq)}$$

أي الأسباب الآتية تبقي حالة تأكسد الصوديوم دون تغيير:

a. Na^+ أيون متفرج.
b. Na^+ لا يمكن أن يختزل.
c. Na^+ عنصر غير متحد.
d. Na^+ أيون أحادي الذرة.

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل المعادلة أدناه للإجابة عن السؤالين 9,8، علمًا أن المعادلة الأيونية الكلية بين اليود وأكسيد الرصاص IV موضحة على النحو الآتي:

$$I_{2(s)} + PbO_{2(s)} \rightarrow IO_3^-{}_{(aq)} + Pb^{2+}_{(aq)}$$

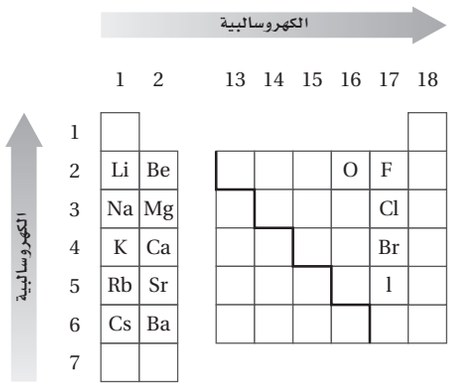
8. حدّد عدد التأكسد لكل مشارك في التفاعل.

9. فسّر كيف تحدد العنصر الذي تأكسد والعنصر الذي اختزل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل جدول العناصر الآتي للإجابة عن الأسئلة من 10 إلى 12.



10. أي العناصر تمثل أقوى عامل مؤكسد؟

11. أي العناصر تمثل أقوى عامل مختزل؟

12. أي العناصر لها أقل كهروسالبية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 4 الكيمياء الكهربائية

Electrochemistry

الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

4-1 الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط) حيث يحدث الاختزال.

4-2 البطاريات

الفكرة الرئيسة البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

4-3 التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.



حقائق كيميائية

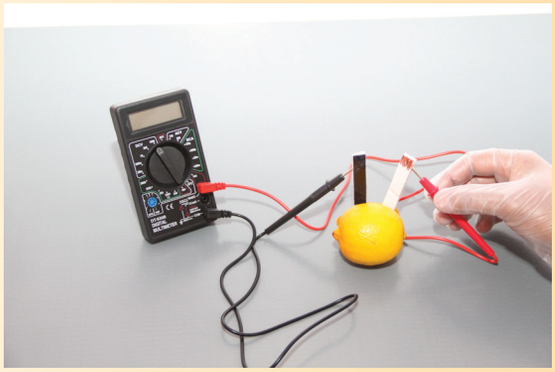
- التقطت كاميرا خاصة هذه الصورة لأسد الجبل، ويعد استعمال هذه الكاميرا طريقة غير مؤذية لدراسة الحيوانات.
- توصل هذه الكاميرا بجهاز استشعار يجعلها تعمل عند اقتراب الحيوان.
- يعمل جهاز الاستشعار عادة بالأشعة تحت الحمراء، ولكن قد تستعمل أيضًا مجسّات الضغط الحساسة.
- تزود البطارية كلًّا من الكاميرا وجهاز الاستشعار بالطاقة، وتشكل الحرارة والرطوبة والبرودة تحديات لأداء كل منهما.
- يمكن تعديل المجسّات لتعمل في أوقات معينة فقط؛ وذلك للمحافظة على البطارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تجربة استهلالية

كيف يمكن عمل بطارية من حبة ليمون؟

يمكن شراء بطارية بوصفها مصدرًا للطاقة المحمولة من أي متجر، كما يمكنك أيضًا إضاءة مصباح كهربائي باستعمال ليمونة. كيف يتشابه هذان المصدران للطاقة؟



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. اغرس **شريحة من الخارصين** وأخرى من **النحاس** في حبة **ليمون**، واترك بينهما مسافة 2 cm.
3. صل الطرف الأسود لمقياس الجهد بشريحة الخارصين، وصل شريحة النحاس بطرفه الأحمر. ثم لاحظ قراءة فرق الجهد، وسجلها.
4. انزع إحدى الشريحتين المعدنيتين من الليمونة، ولاحظ ما يحدث لقراءة فرق الجهد على المقياس.

تحليل النتائج

1. **اشرح** الغرض من شريحتي الخارصين والنحاس.
2. **استنتج** دور الليمونة.

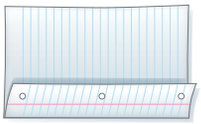
استقصاء هل تعتقد أنه يمكنك عمل بطارية من أطعمة غير الليمون؟ ضع فرضية لأنواع الأطعمة التي يمكن استعمالها في عمل بطارية، ثم ابدأ في تصميم البطارية، وطبّق فرضيتك بعد موافقة معلمك عليها.

المطويات
منظمات الأفكار

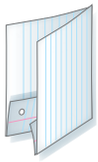
الخلايا الكهروكيميائية

قم بإعداد المطوية الآتية لمساعدتك على مقارنة الخلايا الكهروكيميائية بخلايا التحليل الكهربائي.

الخطوة 1 اثنِ 5 cm من أسفل الورقة أفقيًّا.



الخطوة 2 اثنِ الورقة رأسيًّا نصفين.



الخطوة 3 افتح الورقة، ثم ثبت الثنية في أسفلها لعمل قسمين منفصلين، وعنونهما كما في الشكل.



المطويات **استعمل هذه المطوية مع القسمين 1–4 و3–4**، وذلك عند قراءتك للخلايا الكهروكيميائية. لخص المعلومات في بطاقات، واحفظها في القسم الخاص بها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–1

الأهداف

- تصف طريقة للحصول على طاقة كهربائية من تفاعل أكسدة واختزال.
- تحدد أجزاء الخلية الجلفانية، وتفسر كيفية عمل كل من هذه الأجزاء.
- تحسب جهد الخلية، وتحدد تلقائية تفاعل الأكسدة والاختزال فيها.

مراجعة المفردات

الأكسدة فقدان الذرات للإلكترونات؛ أو الزيادة في عدد التأكسد.

الاختزال اكتساب الذرات للإلكترونات؛ أو النقص في عدد التأكسد.

المفردات الجديدة

القنطرة الملحية

الخلية الكهروكيميائية

الخلية الجلفانية

نصف الخلية

الأنود

الكاثود

جهد الاختزال

قطب الهيدروجين القياسي

الخلايا الجلفانية Voltaic Cells

الفكرة الرئيسة **تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط) حيث يحدث الاختزال.**

الربط مع الحياة إذا تم قص ورقة نقدية من فئة الريال نصفين. فما الذي يمكن عمله بأحد النصفين؟ لا يمكن استعماله من دون النصف الآخر. وهذا ينطبق أيضًا على الخلايا الجلفانية التي تتكون من نصفي خلية؛ إذ يجب وجودهما معًا لإنتاج الطاقة.

الأكسدة والاختزال في الكيمياء الكهربائية
Redox in Electrochemistry

الكيمياء الكهربائية هي دراسة عمليات الأكسدة والاختزال التي تتحول من خلالها الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، وبالعكس.

من المعروف أن تفاعلات الأكسدة والاختزال جميعها تتضمن انتقال الإلكترونات من المواد المتأكسدة إلى المواد المختزلة. ويوضح كل من **الشكلين 1–4** و **2–4** تفاعلاً بسيطًا للأكسدة والاختزال؛ حيث تتأكسد ذرات الخارصين لتكوّن أيونات الخارصين Zn^{2+}، ويكتسب أيون النحاس Cu^{2+} الإلكترونين اللذين فقدتهما ذرة خارصين ليكوّن ذرة النحاس. وتبين المعادلة الأيونية الكلية الآتية انتقال الإلكترونات:

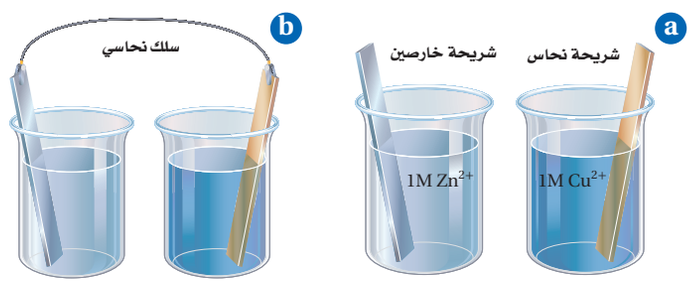
$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \xrightarrow{2e^-} Zn^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

أنصاف التفاعل يتألف هذا التفاعل من نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال الآتيين:

نصف تفاعل الأكسدة: فقدان الإلكترونات $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + 2e^-$

نصف تفاعل الاختزال: اكتساب الإلكترونات $Cu^{2+}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$

ترى، ماذا يحدث لو فصل نصف تفاعل الأكسدة عن نصف تفاعل الاختزال؟ وهل يمكن أن يحدث التفاعل؟ مع الأخذ في الاعتبار **الشكل 1a–4** الذي غُمست فيه شريحة الخارصين في محلول كبريتات الخارصين، وغُمست فيه شريحة النحاس في محلول كبريتات النحاس II.

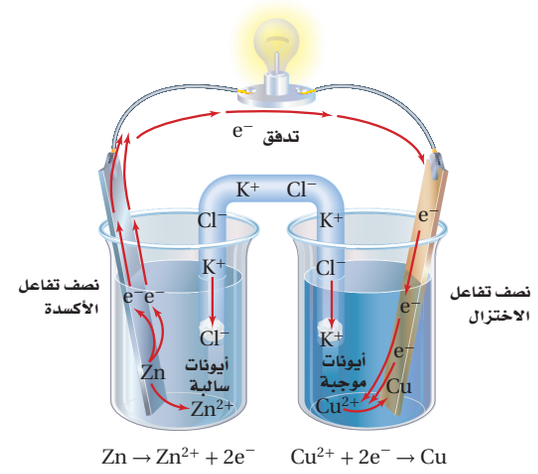


الشكل 1-4

a. غُمست شريحة الخارصين في محلول 1M من كبريتات الخارصين، وغمست شريحة النحاس في محلول 1M من كبريتات النحاس.

b. تم توصيل شريحتي الخارصين والنحاس بسلك كهربائي لتوفير طريق لتدفق الإلكترونات، إلا أن الطريق لم تكتمل بعد، ولا يمكن مرور الإلكترونات فيها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

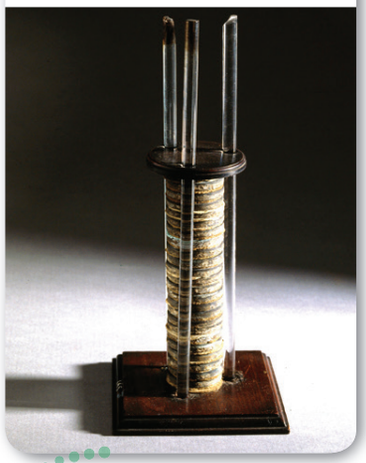


الشكل 2-4 إضافة القنطرة الملحية إلى جانب السلك تعمل على إكمال طريق التدفق؛ فتتحرك الأيونات السالبة خلال القنطرة الملحية نحو الخارصين أما الأيونات الموجبة فتتحرك خلال القنطرة نحو النحاس.

هناك مشكلتان تمنعان حدوث تفاعل الأكسدة والاختزال: الأولى أنه لا يوجد أي طريق لنقل الإلكترونات من ذرات الخارصين إلى أيونات النحاس، وهذه يمكن حلها بتوصيل شريحتي الخارصين والنحاس بأسلاك معدنية، كما في **الشكل 1b–4**؛ إذ يعمل السلك عمل ممر لتدفق الإلكترونات من الخارصين إلى النحاس. أما الثانية فعندما توضع الشرائح المعدنية في محاليلها تبدأ الأكسدة عند الخارصين، في حين يبدأ الاختزال عند النحاس. إلا أن هذه التفاعلات لا تستمر؛ لأن أيونات الخارصين الموجبة تتراكم حول قطب الخارصين خلال تأكسده، كما تتراكم أيونات الكبريتات السالبة حول قطب النحاس خلال اختزاله، وهذا التراكم للأيونات يوقف أي استمرار للتفاعل. ولحل هذه المشكلة تستعمل **القنطرة الملحية**؛ وهي ممر لتدفق الأيونات من جهة إلى أخرى، كما في **الشكل 2–4**. وتتكون من أنبوب يحتوي على محلول موصل للتيار الكهربائي (محلول إلكتروليتي) لملح ذائب في الماء مثل KCl، ويحفظ داخل الأنبوب بواسطة جل هلامي أو أي غطاء يسمح للأيونات بالحركة من خلاله، على ألا يختلط المحلولان في الكأسين. وعندما يوضع السلك المعدني والقنطرة الملحية في مكانيهما يبدأ تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي، وتنتقل الإلكترونات عبر السلك من نصف تفاعل الأكسدة إلى نصف تفاعل الاختزال، في حين تنتقل الأيونات السالبة والموجبة خلال القنطرة الملحية. ويسمى تدفق الأجسام المشحونة التيار الكهربائي. ففي **الشكل 2–4** تتدفق الإلكترونات خلال السلك، وتتدفق الأيونات خلال القنطرة الملحية، فيتكون ما يعرف بالتيار الكهربائي. و تنتج طاقة تدفع الإلكترونات لإضاءة المصابيح

الخلايا الكهروكيميائية يبين **الشكل 2–4** نوعًا من الخلايا الكهروكيميائية يعرف بالخلايا الجلفانية. و**الخلية الكهروكيميائية** جهاز يستعمل تفاعل الأكسدة والاختزال لإنتاج طاقة كهربائية، أو يستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي. و**الخلية الجلفانية** نوع من الخلايا الكهروكيميائية التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وقد سميت أيضًا الخلايا الفولتية نسبة إلى أليساندرو فولتا Alessandro Volta (1745– 1827م) العالم الفيزيائي الإيطالي الذي نسب إليه الاختراع عام 1800م، انظر **الشكل 3–4**.

الشكل 3-4 خلية نسخة طبق الأصل من أول خلية لأليساندرو فولتا تتكون من ألواح من الخارصين والنحاس مرتبة في طبقات متبادلة ومفصولة بقطع قماش أو ورق مقوى مغموس بمحلول حمضي. وتزداد شدة التيار الكهربائي المتولد بزيادة عدد الأقراص المعدنية المستخدمة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

كيمياء الخلايا الجلفانية Chemistry of Voltaic Cells

تتكون الخلايا الكهروكيميائية من جزأين يطلق على كل منهما **نصف الخلية**؛ حيث يحدث فيهما تفاعلات الأكسدة والاختزال المنفصلين. ويحتوي كل نصف خلية على قطب ومحلول يشتمل على أيونات. ويتكون القطب من مادة موصلة للتيار الكهربائي، وعادة ما تكون هذه المادة قطعة معدنية أو قطعة من الجرافيت توصل الإلكترونات من محلول نصف الخلية وإليه. ويوضح **الشكل 2-4** كأس قطب الخارصين التي يحدث فيها نصف تفاعل الأكسدة، وكأس قطب النحاس التي يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال. ويسمى التفاعل الذي يحدث في كل نصف خلية تفاعل نصف الخلية. ويسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسدة **الأنود** (المصعد)، في حين يسمى القطب الذي يحدث عنده تفاعل الاختزال **الكاثود** (المهبط)

ماذا قرأت؟ حدّد أي الكأسين في **الشكل 2-4** تحتوي على الأنود؟

الخلايا الجلفانية والطاقة لأن طاقة الوضع لأي جسم ناتجة عن موضعه أو مكوناته. لذا تعد طاقة الوضع الكهربائية في الكيمياء الكهربائية مقياس كمية التيار التي يمكن توليدها من خلية جلفانية للقيام بشغل. وتستطيع الشحنة الكهربائية الانتقال بين نقطتين فقط عندما يكون هناك فرق في طاقة الوضع الكهربائية بينهما. وهاتان النقطتان في الخلايا الكهروكيميائية هما القطبان؛ حيث تدفع الإلكترونات المتكونة عند الأنود موقع التأكسد أو تتحرك نحو الكاثود بواسطة القوة الدافعة الكهربائية التي تنشأ عن وجود فرق في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين، وتعرف بجهد الخلية. والفولت هو الوحدة المستعملة في قياس جهد الخلية. وفرق الجهد في الخلية الجلفانية هو إشارة إلى كمية الطاقة المتوافرة لدفع الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.

انظر إلى التماثل الظاهر في **الشكل 4-4**، حيث تقف الأفعوانية عند قمة المنحدر لحظة قصيرة، ثم تتحرك من موقعها المرتفع نزولاً إلى أسفل؛ بسبب اختلاف طاقة الوضع للجاذبية الأرضية بين قاع المسار وقمته. وتتحدد طاقة الأفعوانية الحركية بواسطة الاختلاف في الارتفاع بين قاع المسار وقمته. وكذلك تتحدد طاقة الإلكترونات المتدفقة من الأنود إلى الكاثود في الخلايا الجلفانية بواسطة الاختلاف في طاقة الوضع الكهربائية بين القطبين. ووفقًا لمفردات تفاعل الأكسدة والاختزال يتحدد فرق جهد الخلية بمقارنة مدى الفرق في قابلية مادتي الأقطاب على اكتساب الإلكترونات؛ فكلما زاد الفرق بين القطبين زاد فرق جهد الخلية وزاد معه أيضًا جهد الخلية.



الشكل 4-4 عندما تكون الأفعوانية في قمة المسار يكون لها طاقة وضع عالية بالنسبة إلى المسار المنخفض بسبب اختلاف الارتفاع، وبالمثل يكون للخلية الكهروكيميائية طاقة وضع لإنتاج تيار بسبب اختلاف قابلية الأقطاب لتحريك الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

وتسحب قوة الجاذبية هواة رياضة الغطس في الماء دائمًا للسقوط نحو وضع منخفض من الطاقة، وليس إلى أعلى؛ حيث يكون مستوى الطاقة أعلى. وعندما يقفز الغواص من فوق لوح الغوص تكون حركته إلى أسفل بصورة تلقائية. وكذلك في خلية الخارصين – النحاس وتحت الظروف القياسية، تكتسب أيونات النحاس عند الكاثود إلكترونات بسهولة أكثر من الخارصين عند الأنود، لذا يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال بتلقائية فقط عندما تتدفق الإلكترونات من الخارصين إلى النحاس.

حساب فرق الجهد في الخلايا الكهروكيميائية
Calculating Electrochemical Cell Potentials

من المعروف أن اكتساب الإلكترونات يسمى اختزالاً. وبناءً على هذه الحقيقة فإن مدى قابلية المادة لاكتساب الإلكترونات هو **جهد الاختزال** لهذه المادة. ولا يمكن تحديد جهد اختزال القطب بصورة مباشرة؛ وذلك لأن نصف تفاعل الاختزال لا بد أن يقترن بنصف تفاعل الأكسدة. وعند اقتران نصفي التفاعل فإن الجهد الناتج يساوي فرق الجهد لنصفي التفاعل. ويعبر عن فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين بالفولت V.

قطب الهيدروجين القياسي قرر علماء الكيمياء منذ زمن بعيد أن يقيسوا جهد الاختزال لكل الأقطاب مقابل قطب واحد، فاختاروا **قطب الهيدروجين القياسي** الذي يتكون من شريحة صغيرة من البلاتين مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1M. ويتم ضخ غاز الهيدروجين H_2 في المحلول عند ضغط 1 atm ودرجة حرارة 25 °C، وتعرف هذه الظروف بالظروف القياسية (STP)، كما في **الشكل 5–4**، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي ($E°_{H_2}$) مساويًا 0.000 V، ويعمل هذا القطب بوصفه نصف تفاعل اختزال، أو نصف تفاعل أكسدة؛ اعتمادًا على نصف الخلية الموصلة به. والتفاعلان اللذان يمكن حدوثهما عند قطب الهيدروجين القياسي هما:

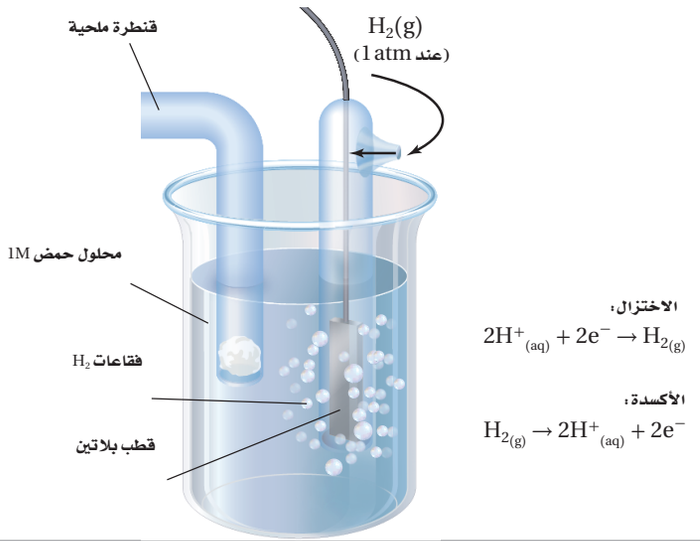
$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \underset{\text{الأكسدة}}{\overset{\text{الاختزال}}{\rightleftarrows}} H_{2(g)} \qquad E^\circ = 0.000\ V$$

المفردات

أصل الكلمة

التلازم:(Correspond)
الموافقة أو الانسجام
تتوافق الاتجاهات مع الخريطة، أو الأكسدة والاختزال عمليتان متلازمتان.

المطويات
ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



الشكل 5-4 يتكون قطب الهيدروجين القياسي من قطب بلاتين يتدفق فوقه غاز الهيدروجين عند 1atm ويضخ في محلول حمضي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1 M. ويعرف فرق جهد الاختزال لهذا الترتيب بالقيمة 0.000 V.

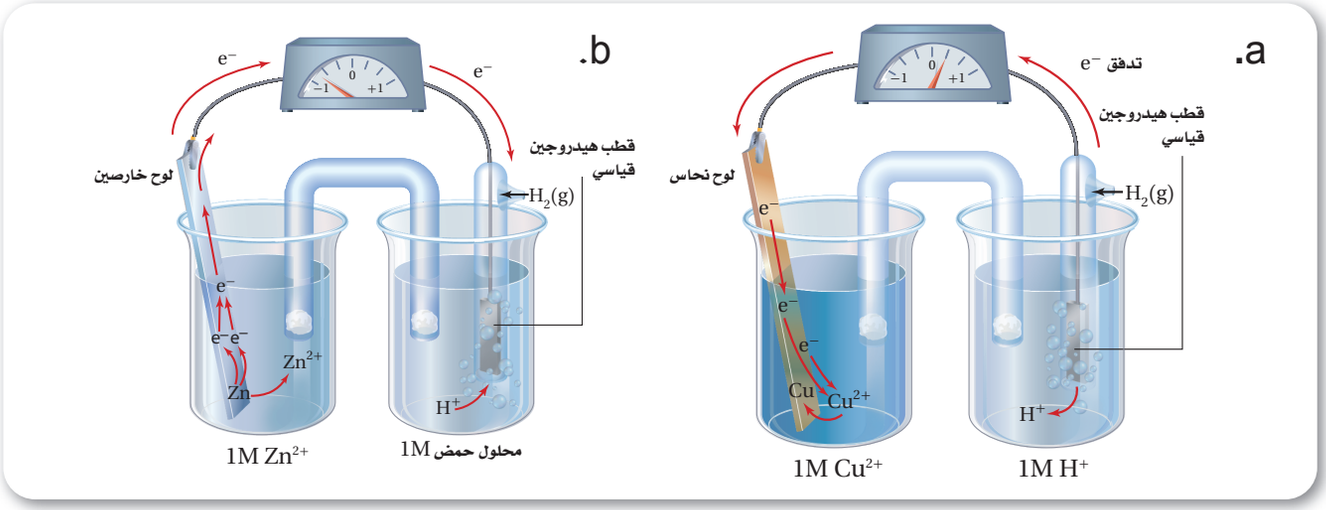
وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

جهـود نصف الخليـة قام الكيميائيون عبر السنين بقياس جهود الاختزال القياسية وتسـجيلها لعدد من أنصاف الخلايا. ويرتب **الجدول 1–4** بعض تفاعلات نصف الخلية الشائعة تصاعديًّا بحسـب قيم جهود الاختزال. وقد تم الحصول على القيم في الجـدول من خلال قيـاس الجهد عنـد توصيل كل نصف خليـة بنصف خلية الهيدروجين القياسـية. وقد كتبـت التفاعلات في **الجـدول 1–4** جميعها في صورة تفاعلات اختزال. ومع ذلك ففـي أي خلية جلفانية تحتوي دائمًا على نصفي تفاعل سـيحدث نصف التفاعل الذي له جهد اختزال أقل في اتجاه عكسي، ويصبح تفاعل أكسـدة؛ أي أن نصف التفاعل الذي له جهد اختزال موجب أكبر يحدث في صورة اختزال، أمـا نصف التفاعل الذي له جهد اختزال سـالب أكبر فيحدث في صورة أكسـدة. ويجب أن يقاس جهد القطب تحت الظروف القياسية، وهي غمس القطب في محلول مـن أيوناته تركيزه 1 M عند 25°C و 1 atm. حيث يشـير الصفر فوق الترميز E° باختصار إلى أن القياس تم تحت ظروف قياسية.

الجدول 1-4 جهود الاختزال القياسية

نصف التفاعل	E^0 (V)	نصف التفاعل	E^0 (V)
$Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$	+0.153	$Li^+ + e^- \rightarrow Li$	−3.0401
$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0.3419	$Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$	−2.868
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$	+0.401	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	−2.71
$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	+0.5355	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.372
$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	+0.771	$Be^{2+} + 2e^- \rightarrow Be$	−1.847
$NO_3^- + 2H^+ + e^- \rightarrow NO_2 + H_2O$	+0.775	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.662
$Hg_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$	+0.7973	$Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$	−1.185
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0.7996	$Cr^{2+} + 2e^- \rightarrow Cr$	−0.913
$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	+0.851	$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$	−0.8277
$2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$	+0.920	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	−0.7618
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$	+0.957	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.744
$Br_{2(l)} + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	+1.066	$S + 2e^- \rightarrow S^{2-}$	−0.47627
$Pt^{2+} + 2e^- \rightarrow Pt$	+1.18	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	−0.447
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.229	$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	−0.4030
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	+1.35827	$PbI_2 + 2e^- \rightarrow Pb + 2I^-$	−0.365
$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1.498	$PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$	−0.3588
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	+1.507	$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$	−0.28
$Au^+ + e^- \rightarrow Au$	+1.692	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	−0.257
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	+1.776	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	−0.1375
$Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$	+1.92	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.1262
$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	+2.010	$Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$	−0.037
$F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$	+2.866	$\mathbf{2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2}$	**0.0000**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 6-4

a. عند توصيل قطب $Cu^{2+}|Cu$ بقطب هيدروجين تتدفق الإلكترونات نحو لوح النحاس، فتختزل أيونات Cu^{2+} إلى ذرات Cu، وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي $+0.342V$.

b. وعند توصيل قطب $Zn|Zn^{2+}$ بقطب الهيدروجين تتدفق الإلكترونات مبتعدة عن لوح الخارصين، فتتأكسد ذرات الخارصين إلى أيونات Zn^{2+}. وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي $-0.762\ V$.

تحديد جهود اختزال الخلية الكهروكيميائية يمكنك استعمال الجدول **1–4** في حساب الجهد الكهربائي لخلية جلفانية مكونة من قطب نحاس وقطب خارصين تحت الظروف القياسية. وتكون الخطوة الأولى هي تحديد جهد الاختزال القياسي لنصف خلية النحاس $E°_{Cu}$ عند توصيل قطب النحاس بقطب الهيدروجين القياسي، كما في **الشكل 6a–4**؛ حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الهيدروجين إلى قطب النحاس، وتختزل أيونات النحاس إلى فلز النحاس، وتساوي قيمة $E°_{Cu}$ المقيسة بواسطة مقياس فرق الجهد (voltmeter) $+0.342\ V$. ويشير الجهد الموجب إلى أن أيونات Cu^{2+} عند قطب النحاس تكتسب إلكترونات بصورة أسهل من أيونات H^+ عند قطب الهيدروجين القياسي؛ لذا يحدث الاختزال عند قطب النحاس، في حين تحدث الأكسدة عند قطب الهيدروجين، وتكون أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال والتفاعل الكلي كما يلي:

$$H_{2(g)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} + 2e^- \quad \text{(نصف تفاعل التأكسد)}$$
$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)} \quad \text{(نصف تفاعل الاختزال)}$$
$$H_{2(g)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2H^+_{(aq)} + Cu_{(s)} \quad \text{(التفاعل الكلي)}$$

ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":

متفاعل ناتج متفاعل ناتج

$$H_2 \,|\, H^+_{(1M)} \,||\, Cu^{2+}_{(1M)} \,|\, Cu \qquad E°_{Cu} = +0.342\ V$$

نصف تفاعل الأكسدة نصف تفاعل الاختزال

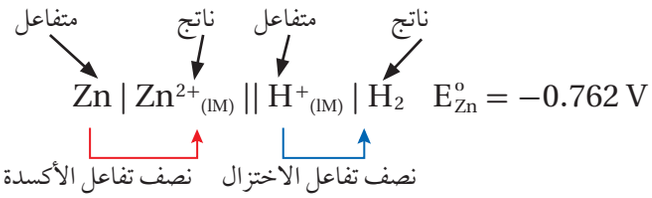
تكتب الذرات/ الأيونات (التركيز) الداخلة في عملية الأكسدة أولاً وبالترتيب الذي تظهر به في نصف تفاعل الأكسدة، ويوضع بعدهما خطان عموديان (||) يمثلان السلك والقنطرة الملحية وتربطان نصفي الخلية. ثم تكتب الأيونات (التركيز)/ الذرات الداخلة في الاختزال بالترتيب نفسه. لاحظ ضرورة وضع إشارة ناتج الجمع لقيم $E°$ قبل قيمة الجهد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

إن الخطوة الآتية هي تحديد جهد الاختزال القياسي لنصف خلية الخارصين E°_{Zn} عند قياس جهد اختزال الخارصين مقابل قطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية، كما في الشكل **4-6b**؛ حيث تتدفق الإلكترونات من قطب الخارصين إلى قطب الهيدروجين. وعند قياس قيمة E° لنصف خلية الخارصين بواسطة مقياس الجهد فإنها تساوي $-0.762V$، وهذا يعني أن أيونات الهيدروجين عند قطب الهيدروجين تكتسب إلكترونات أسهل من أيونات الخارصين، لذا يكون جهد اختزال أيونات الهيدروجين أعلى من جهد اختزال أيونات الخارصين. تذكر أن جهد الاختزال للهيدروجين تم تعيينه بالقيمة $0.00\,V$، لذا فإن جهد اختزال قطب الخارصين يجب أن يكون قيمة سالبة. ويمكن كتابة تفاعلي أنصاف الخلية والتفاعل الكلي على النحو الآتي:

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \quad \text{(نصف تفاعل الأكسدة)}$$
$$2H^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} \quad \text{(نصف تفاعل الاختزال)}$$
$$Zn_{(s)} + 2H^{+}_{(aq)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)} \quad \text{(التفاعل الكلي)}$$

ويمكن كتابة هذا التفاعل بصيغة تعرف بـ "رمز الخلية":



أما الخطوة النهائية في حساب جهد الخلية الكهروكيميائية فتكون بجمع نصفي تفاعل النحاس والخارصين، على أنهما خلية جلفانية، وهذا يعني حساب جهد الخلية الجلفانية القياسي باستعمال المعادلة الآتية:

معادلة جهد الخلية

$$E^{0}_{cell} = E^{0}_{cathode} - E^{0}_{anode}$$

E^{0}_{cell} تمثل الجهد الكلي القياسي للخلية.

$E^{0}_{cathode}$ تمثل جهد نصف الخلية القياسي لتفاعل الاختزال.

E^{0}_{anode} تمثل جهد نصف الخلية القياسي لتفاعل التأكسد.

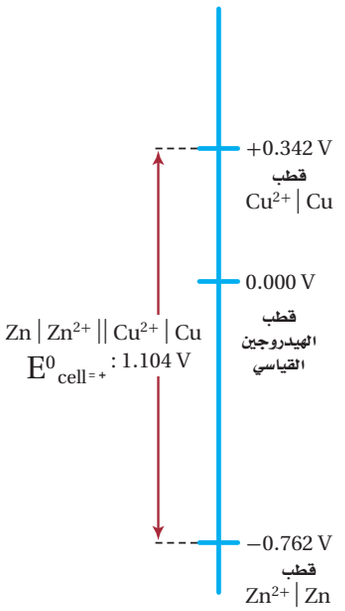
جهد الخلية القياسي يساوي الجهد القياسي لنصف خلية الاختزال مطروحًا منه الجهد القياسي لنصف خلية التأكسد.

ولما كان الاختزال يحدث عند قطب النحاس، والأكسدة تحدث عند قطب الخارصين، فإن قيم E° يمكن تعويضها على النحو الآتي:

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{Cu^{2+}|\,Cu} - E^{\circ}_{Zn^{2+}|\,Zn}$$
$$= +0.342\,V - (-0.762\,V)$$
$$= +1.104\,V$$

والشكل **4-7** يوضح طريقة حساب الجهد الكلي لهذه الخلية.

الشكل 4-7 يوضح كيف يحسب جهد الخلية الكلي من فرق جهود الاختزال لقطبين.



اختبار الرسم البياني

أيهما يتأكسد أسهل من الهيدروجين: النحاس أم الخارصين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مثال 1-4

حساب جهد الخلية تمثل أنصاف تفاعلات الاختزال الآتية نصفي خلية جلفانية:

$$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$$

$$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$$

حدّد التفاعل الكلي للخلية وجهدها القياسي، ثم اكتب رمز الخلية.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت معادلات أنصاف الخلية، ويمكن إيجاد جهود الاختزال القياسية من الجدول4–1. وسيكون نصف التفاعل الذي له أقل جهد اختزال هو تفاعل الأكسدة، ويمكنك بهذه المعلومة كتابة التفاعل الكلي للخلية وكتابة رمزها.

المعطيات

جهود الاختزال القياسية لأنصاف الخلايا

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

المطلوب

التفاعل الكلي للخلية = ؟

E°_{cell} = ؟

رمز الخلية = ؟

2 حساب المطلوب

أوجد قيم جهود الاختزال القياسية لكل نصف خلية من **الجدول 4–1**.

$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$ $\quad E^0_{I_2|I^-} = +0.536\ V$

$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $\quad E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.447\ V$

لما كان لاختزال اليود أكبر جهد اختزال فإن نصف التفاعل هذا يستمر في الاتجاه الطردي في صورة اختزال، في حين يستمر نصف تفاعل الحديد في الاتجاه العكسي في صورة أكسدة .

أعد كتابة نصف تفاعل الحديد في الاتجاه الصحيح.

$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$ (نصف تفاعل الأكسدة)

$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$ (نصف تفاعل الاختزال)

اجمع المعادلتين.

$$I_{2(s)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)}$$

التفاعل الكلي للخلية $I_{2(s)} + Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)}$.

احسب جهد الخلية القياسي.

ضع معادلة جهد الخلية

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

عوض $E^\circ_{I_2|I^-}$ و $E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$ في المعادلة العامة.

$$E^0_{cell} = E^\circ_{I_2|I^-} - E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$$

عوض عن $E^\circ_{I_2|I^-}$ بالقيمة $+0.536\ V$، وعن $E^\circ_{Fe^{2+}|Fe}$ بالقيمة $-0.447\ V$

$$E^0_{cell} = +0.536\ V - (-0.447\ V)$$

$$E^0_{cell} = +0.983\ V$$

كتابة رمز الخلية.

اكتب أولاً نصف تفاعل الأكسدة باستعمال رمز المادة المتفاعلة ثم الناتجة.

$Fe \mid Fe^{2+}$

واكتب بعد ذلك نصف تفاعل الاختزال عن اليمين، وافصل بين نصفي التفاعل بخطين عموديين.

$Fe \mid Fe^{2+}_{(1M)} \parallel I_2 \mid I^-_{(1M)}$

رمز الخلية $Fe \mid Fe^{2+}_{(1M)} \parallel I_2 \mid I^-_{(1M)}$

3 تقويم الإجابة

جهد الاختزال المحسوب معقول بالنظر إلى جهود أنصاف الخلية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مسائل تدريبية

اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية الكلي لكل من أزواج أنصاف التفاعلات الآتية. احسب جهد الخلية القياسي، ثم اكتب رمز الخلية. ارجع إلى قواعد وزن معادلات الأكسدة والاختزال التي درستها سابقًا.

1. $Pt^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pt_{(s)}$ و $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$

2. $Co^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Co_{(s)}$ و $Cr^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Cr_{(s)}$

3. $Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Hg_{(l)}$ و $Cr^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cr_{(s)}$

4. **تحفيز** اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية، واحسب جهد الخلية القياسي للتفاعل الذي يحدث عندما يتم توصيل هذه الخلايا معًا، ثم اكتب رمز الخلية.

$$NO^-_{3\,(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 3e^- \rightarrow NO_{(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

$$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 4OH^-_{(aq)}$$

استعمال جهود الاختزال القياسية
Using Standard Reduction Potentials

توضح الأمثلة كيفية استعمال البيانات في **الجدول 1–4** لحساب الجهد القياسي للخلايا الجلفانية. والاستعمال الآخر المهم لجهود الاختزال القياسية هو تحديد هل سيكون التفاعل المقترح تحت الظروف القياسية تلقائيًّا؟ وكيف يمكن أن تكون جهود الاختزال القياسية مؤشرًا على التلقائية؟ تتدفق الإلكترونات في الخلية الجلفانية من نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأقل إلى نصف الخلية ذات جهد الاختزال القياسي الأكبر؛ لتعطي جهدًا موجبًا للخلية. ولتتوقع حدوث تفاعل أكسدة واختزال معين بشكل تلقائي، اكتب التفاعل في صورة أنصاف تفاعل، وابحث عن جهد الاختزال لكل منها. واستخدم هذه القيم لحساب جهد الخلية الجلفانية. إذا كان الجهد المحسوب موجبًا فالتفاعل تلقائي، أما إذا كانت القيمة سالبة فالتفاعل غير تلقائي. لكن في حالة عكس تفاعل غير تلقائي فسيكون له جهد خلية موجب؛ وهذا يعني أن التفاعل العكسي يكون تلقائيًّا.

ماذا قرأت؟ **حدّد** إشارة جهد الخلية القياسي لتفاعل الأكسدة والاختزال الذي يحدث بصورة تلقائية.

مسائل تدريبية

احسب جهد الخلية لتحديد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية تحدث بصورة تلقائية كما هي مكتوبة أم لا، واستخدم **الجدول 1–4** لمساعدتك على تحديد أنصاف التفاعل الصحيحة:

5. $Sn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Sn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$

6. $Mg_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + Mg^{2+}_{(aq)}$

7. $2Mn^{2+}_{(aq)} + 8H_2O_{(l)} + 10Hg^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2MnO_4{}^-_{(aq)} + 16H^+_{(aq)} + 5Hg_2{}^{2+}_{(aq)}$

8. $2SO_4{}^{5-}_{(aq)} + Co^{2+}_{(aq)} \rightarrow Co_{(s)} + S_2O_8{}^{5-}_{(aq)}$

9. **تحفيز** اكتب المعادلة، وحدّد جهد الخلية $E°$ للخلية الآتية باستعمال **الجدول 1–4**. هل التفاعل تلقائي؟

$$Al \mid Al^{3+}_{(1M)} \parallel Hg^{2+}_{(1M)} \mid Hg_2{}^{2+}_{(1M)}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

استراتيجية حل المسألة

تحديد جهود الخلية

تلخص الخطوات الخمس الآتية إجراءات حساب جهد الخلية الجلفانية التي يحدث فيها تفاعل الأكسدة والاختزال بشكل تلقائي.

افترض أن عليك كتابة معادلة للخلية التي تتكون من أنصاف التفاعل الآتية وحساب جهدها:

$$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)} \quad \text{و} \quad Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$$

كل ما تحتاج إليه هو جدول لجهود الاختزال، مثل **الجدول 1-4**.

1. ابحث عن نصفي التفاعل في **الجدول 1-4**.

2. قارن بين جهد نصفي الخلية؛ فنصف الخلية التي لها جهد اختزال أعلى هي التي سيحدث عندها الاختزال، في حين تحدث أكسدة في نصف الخلية التي لها جهد اختزال أقل.

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ (اختزال) $\quad E^0 = -0.037\ V$

$Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$ (أكسدة) $\quad E^0 = -1.185\ V$

3. اكتب معادلة الاختزال كما هي في **الجدول 1-4**، واكتب معادلة الأكسدة في الاتجاه المعاكس.

$$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)} \quad \text{و} \quad Mn \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

4. زن الإلكترونات في معادلات نصفي الخلية بضرب كلتا المعادلتين في المعامل المناسب، ثم اجمعها.

اضرب في 2 $\quad 2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 2Fe_{(s)}$

اضرب في 3 $\quad 3Mn_{(s)} \rightarrow 3Mn^{2+}_{(aq)} + 6e^-$

اجمع المعادلتين $2Fe^{3+}_{(aq)} + 3Mn_{(s)} \rightarrow 2Fe_{(s)} + 3Mn^{2+}$

5. لا تؤثر مساواة الإلكترونات المفقودة والمكتسبة في E° للتفاعل الكلي. استخدم الصيغة $E^\circ_{cell} = E^\circ_{reduction} - E^\circ_{oxidation}$ للحصول على جهد الخلية.

$$E^0_{cell} = E^0_{Fe^{3+}|Fe} - E^0_{Mn^{2+}|Mn} = -0.037\ V - (-1.185\ V)$$
$$= +1.148\ V$$

استراتيجية حل المسألة

حدّد E° لتفاعل التأكسد والاختزال التلقائي الذي يحدث بين الماغنسيوم والنيكل.

التقويم 1-4

الخلاصة

- يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال في الخلايا الجلفانية على أقطاب منفصلة بعضها عن بعض.
- جهد نصف خلية التفاعل القياسي هو جهد التيار الناتج عند اقترانها بقطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية.
- يكون جهد اختزال نصف الخلية سالبًا إذا حدث لها أكسدة عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي، ويكون لها جهد اختزال موجب إذا حدث لها اختزال عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي .
- الجهد القياسي لخلية جلفانية هو الفرق بين جهود الاختزال لأنصاف الخلايا.

10. الفكرة الرئيسة **صف** الظروف التي يؤدي عندها تفاعل الأكسدة والاختزال إلى تدفق التيار الكهربائي خلال السلك .

11. حدّد مكوّنات الخلية الجلفانية، وفسّر دور كل مكوّن في عملية تشغيل الخلية.

12. اكتب المعادلة الموزونة لتفاعل الخلية التلقائي الذي يحدث في الخلية التي لها أنصاف تفاعل الاختزال الآتية:

a. $Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Ni_{(s)}$ و $Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

b. $2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$ و $Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mg_{(s)}$

c. $Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$

d. $Pt^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Pt_{(s)}$ و $PbI_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Pb_{(s)} + 2I^-_{(aq)}$

13. حدّد الجهد القياسي للخلايا الكهروكيميائية؛ حيث تمثل كل معادلة التفاعل الكلي للخلية. وحدد أيضًا هل التفاعلات المكتوبة أدناه تلقائية أم غير تلقائية.

a. $2Al^{3+}_{(aq)} + 3Cu_{(s)} \rightarrow 3Cu^{2+}_{(aq)} + 2Al_{(s)}$

b. $Hg^{2+}_{(aq)} + 2Cu^+_{(aq)} \rightarrow 2Cu^{2+}_{(aq)} + Hg_{(l)}$

c. $Cd_{(s)} + 2NO_3^-{}_{(aq)} + 4H^+_{(aq)} \rightarrow Cd^{2+}_{(aq)} + 2NO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$

14. صمّم خريطة مفاهيم للبند 1–4 مبتدئًا بالمصطلح "خلية كهروكيميائية"، ثم أدرج جميع المصطلحات الجديدة في خريطتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2

الأهداف

- **تصف** تركيب البطارية الجافة التقليدية المصنوعة من الكربون والخارصين ومكوّناتها وآلية عملها.
- **تميز** بين البطاريات الأولية والثانوية، وتعطي مثالين على كل نوع.
- **تفسّر** تركيب خلية الوقود (الهيدروجين– الأكسجين) وعملها.
- **تصف** عملية تآكل الحديد وطرائق حمايته من التآكل.

مراجعة المفردات

التفاعل العكسي التفاعل الذي يمكن أن يحدث في الاتجاهين الطردي والعكسي.

المفردات الجديدة

البطارية

الخلية الجافة

البطارية الأولية

البطارية الثانوية

خلية الوقود

التآكل

الجلفنة

البطاريات Batteries

الفكرة الرئيسة **البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.**

الربط مع الحياة تأمل قليلاً عند كتابة قائمة بالأشياء التي تستعمل فيها البطاريات؛ فقد تضم قائمتك المصباح الكهربائي والسيارات والهواتف والمذياع والحاسبات والساعات والألعاب وغيرها. فهل جميع البطاريات في هذه الأجهزة متشابهة؟

الخلايا الجافة Dry Cells

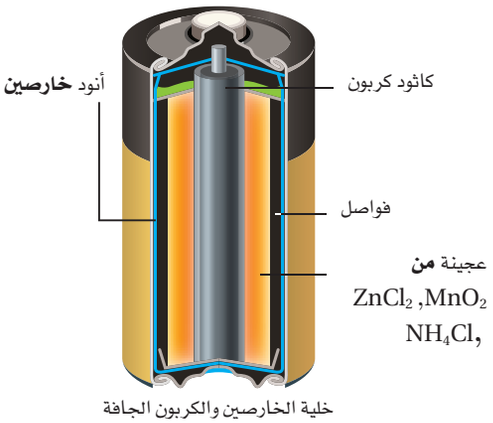
تزود بعض تفاعلات الخلايا التلقائية التي درستها البطاريات بالطاقة التي نستعملها يوميًّا. **والبطارية** عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي. ولقد كانت البطارية الجافة المكونة من الخارصين والكربون، كما في **الشكل 8–4**، هي الأكثر استعمالاً منذ اكتشاف البطارية عام 1860 م حتى الآن.

خلية الخارصين والكربون الجافة **الخلية الجافة** هي خلية جلفانية؛ حيث يكون المحلول الموصل للتيار عجينة رطبة تتكون من خليط من كلوريد الخارصين وأكسيد المنجنيز IV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حافظة من الخارصين. وحافظة الخارصين هي الأنود في الخلية؛ حيث يحدث تأكسد الخارصين بحسب المعادلة الآتية:

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

ويعمل عمود الكربون أو الجرافيت في مركز الخلية الجافة عمل الكاثود، ولكن تفاعل الاختزال لنصف الخلية يحدث داخل العجينة. ويسمى عمود الكربون في هذا النوع من الخلايا الجافة الكاثودَ غير الفعال؛ لأنه يتكون من مادة لا تسهم في تفاعل الأكسدة والاختزال، إلا أن القطب غير الفعال له غرض مهم في توصيل الإلكترونات. ويتم تفاعل الاختزال لنصف الخلية على النحو الآتي:

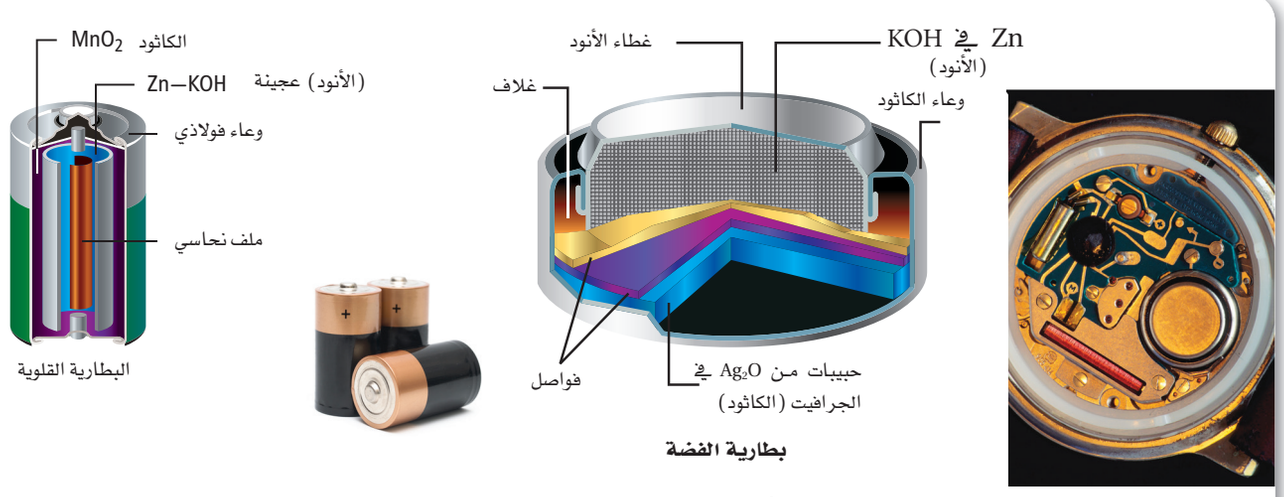
$$2NH_4^+{}_{(aq)} + 2MnO_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$



خلية الخارصين والكربون الجافة

الشكل 8-4 تتكون ما يطلق عليه الخلية الجافة من عجينة رطبة يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال، وتعمل حافظة الخارصين في خلية الخارصين والكربون عمل الأنود.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



تشبه بطارية الفضة إلى حد كبير البطارية القلوية، على الرغم من أنها تظهر مختلفة وتستعمل أكسيد الفضة Ag_2O في الكاثود بدلاً من أكسيد المنجنيز

تستخدم البطارية القلوية مسحوق الخارصين كأنود

يوجد في خلية الخارصين والكربون الجافة فواصل رقيقة مصنوعة من مادة مسامية تحتوي على عجينة رطبة تفصلها عن أنود الخارصين. وتعمل هذه الفواصل عمل القنطرة الملحية للسماح بتحرك الأيونات، ومن ثم فإنها تشبه إلى حد كبير نموذج الخلية الجلفانية الذي درسته في القسم 1–4. وتنتج خلية الخارصين والكربون الجافة 1.5 V حتى يبدأ إنتاج الأمونيا بوصفه ناتج تفاعل الاختزال عن محلولها المائي في صورة غاز. وعندها ينخفض الجهد إلى مستوى يجعل البطارية غير نافعة.

البطاريات القلوية لقد حلت الخلية القلوية الجافة الأكثر كفاءة، محل خلية الخارصين والكربون الجافة في الكثير من التطبيقات كما في **الشكل 9–4**. ويوجد الخارصين في الخلية القلوية على هيئة مسحوق، مما يوفر مساحة سطح أكبر للتفاعل، ويخلط مع هيدروكسيد البوتاسيوم على شكل عجينة، وهي قاعدة قوية، وتوضع العجينة في علبة من الفولاذ. ويقوم مخلوط من ثاني أكسيد المنجنيز وهيدروكسيد البوتاسيوم مقام الكاثود. ويمكن تمثيل تفاعل الأنود لنصف الخلية على النحو الآتي:

$$Zn_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow ZnO_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$$

أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو:

$$MnO_{2(s)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow Mn(OH)_{2(s)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ولا تحتاج البطاريات القلوية إلى عمود الكربون بوصفه كاثودًا؛ لذا يمكن تصنيعها بأحجام صغيرة، ولها استعمالات متعددة في الأجهزة الصغيرة.

بطاريات الفضة بطاريات الفضة الموضحة في **الشكل 9–4** أصغر حجمًا، وتستعمل في تزويد الأجهزة بالطاقة، ومنها سماعات الأذن والساعات وآلات التصوير. وتَستعمل بطاريات الفضة تفاعل أنود نصف خلية البطاريات القلوية. أما تفاعل الكاثود لنصف الخلية فهو على النحو الآتي:

$$Ag_2O_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow 2Ag_{(s)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ماذا قرأت؟ حدّد أنصاف التفاعلات المشتركة التي تحدث في كل من البطاريات القلوية، وبطاريات الفضة.

الشكل 9-4 البطاريات القلوية أكثر كفاءة من خلية الخارصين والكربون الجافة، وأكثر نفعًا عند الحاجة إلى بطاريات صغيرة الحجم. أما بطاريات الفضة فهي أصغر حجمًا من القلوية، وتناسب الأجهزة الصغيرة الحجم مثل الساعات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

البطاريات الأولية والثانوية تقسم البطاريات إلى نوعين اعتمادًا على عملياتها الكيميائية. وتصنف خلايا الخارصين والكربون، والقلوية، والفضة على أنها بطاريات أولية. و**البطاريات الأولية** هي التي تنتج طاقة كهربائية من تفاعل الأكسدة والاختزال الذي لا يحدث بشكل عكسي بسهولة، وتصبح البطارية غير صالحة للاستعمال بعد انتهاء التفاعل. ويسمى النوع الآخر **البطاريات الثانوية**، وهي تعتمد على تفاعل الأكسدة والاختزال العكسي، لذا فإنه يمكن شحنها. فبطارية السيارة والحاسوب المحمول مثالان على هذا النوع من البطاريات التي تُسمى في بعض الأحيان بطاريات التخزين.

وعادة ما تكون بطاريات التخزين التي تستعمل في آلات الحلاقة وآلات التصوير الرقمية بطاريات نيكل – كادميوم قابلة للشحن، وتسمى في بعض الأحيان بطاريات NiCad، كما في **الشكل 10–4**. وللحصول على الكفاءة القصوى للبطارية يصنع كل من الأنود والكاثود من أشرطة دقيقة طويلة من مواد مفصولة بطبقة يمكن للأيونات أن تمر من خلالها. وتلف الأشرطة في لفائف ضيقة وتعبأ داخل علبة فولاذية. ويتمثل تفاعل الأنود الذي يحدث عند استعمال البطارية لتوليد تيار كهربائي في أكسدة الكادميوم في وسط قاعدي:

$$Cd_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow Cd(OH)_{2(s)} + 2e^-$$

أما تفاعل الكاثود فهو اختزال النيكل من حالة تأكسد 3+ إلى 2+ .

$$NiO(OH)_{(s)} + H_2O_{(l)} + e^- \rightarrow Ni(OH)_{2(s)} + OH^-_{(aq)}$$

وتحدث هذه التفاعلات بشكل عكسي عند شحن البطارية.

بطاريات تخزين المركم الرصاصي الحمضية
Lead–Acid Storage Battery

هذا النوع من البطاريات شائع الاستخدام في السيارات. وتتكون معظم بطاريات السيارات من 6 خلايا تولد كل منها 2V ليصبح ناتجها الكلي 12V. ويتكون الأنود في كل خلية من شبكتين مساميتين أو أكثر من الرصاص. أما الكاثود فيتكون من شبكة واحدة من الرصاص المملوءة بأكسيد الرصاص IV. ويجب أن يسمى هذا النوع من البطاريات بطارية رصاص – أكسيد الرصاص IV، إلا أن بطاريات الرصاص الحمضية هو الاسم الأكثر شيوعًا لها؛ لأن المحلول الموصل في البطارية هو محلول حمض الكبريتيك، وهي بطارية غير جافة.

وتمثل المعادلات الآتية تفاعل الأكسدة لنصف الخلية عند الأنود؛ حيث يتأكسد الرصاص من حالة تأكسد 0.0 إلى 2+ في $PbSO_4$.

$$Pb_{(s)} + SO_4^{-2}{}_{(aq)} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^-$$

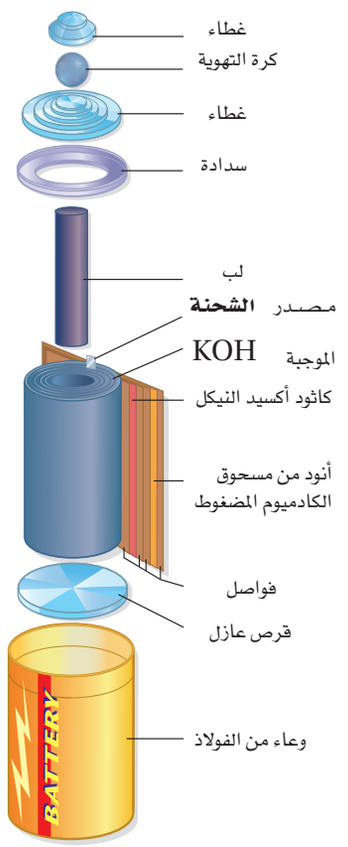
ويختزل الرصاص من حالة تأكسد 4+ إلى 2+ عند الكاثود، ويمثل تفاعل الاختزال لنصف الخلية عند الكاثود كما يلي:

$$PbO_{2(s)} + 4H^+ + SO_4^{-2}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

لذا فإن التفاعل الكلي هو:

$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2SO_4^{-2}{}_{(aq)} \rightarrow 2\,PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

وبالنظر إلى تفاعلات نصفي الخلية يمكنك ملاحظة أن كبريتات الرصاص II $PbSO_4$

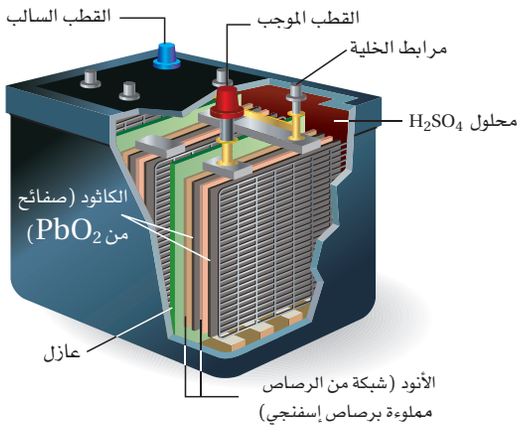


الشكل 10-4 تزود الأدوات والهواتف اللاسلكية عادة بالطاقة بواسطة بطاريات يمكن إعادة شحنها، ويتم إعادة شحن بطارية NiCad عند توصيلها بمصدر كهربائي يزودها بالطاقة لتدفع تفاعل الشحن غير التلقائي للحدوث.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



يسبب انخفاض مستوى المحلول الموصل نفاد شحنة البطارية .وتقوم أسلاك الشحن بنقل التيار من سيارة بها بطارية جيدة وذلك لإعادة شحن البطارية المستهلكة.



تحتوي بطاريات المركم الرصاصي على صفائح من الرصاص وأكسيده ، والمحلول الموصل عبارة عن محلول حمض الكبريتيك، وعند استعمال البطارية يُستهلك الحمض ويصبح المحلول الموصل أقل كثافة .

الشكل 4-11 تستهلك بطاريات المركم الرصاصي المستعملة في السيارات عند تشغيل السيارة، وتشحن عندما يعمل المحرك.

هي ناتج الأكسدة والاختزال. وكذلك فإن كلًّا من PbO_2 و Pb و $PbSO_4$ مادة صلبة، لذا تبقى في مكان تكوُّنها نفسه. ولذلك تكون المواد المتفاعلة في الأماكن المطلوبة سواء أكانت البطارية في حالة استعمال أو شحن.

يعمل حمض الكبريتيك عمل محلول موصل بالبطارية، إلا أنه يُستهلك في أثناء توليد البطارية للتيار الكهربائي، كما توضح معادلة الخلية الكلية ذلك. ماذا يحدث عند إعادة شحن البطارية؟ يصبح التفاعل في هذه الحالة عكسيًّا؛ لينتج الرصاص وأكسيد الرصاص IV وحمض الكبريتيك، والموضح بالجزء في المعادلة $4H^+_{(aq)} + 2SO_4{}^{-2}_{(aq)}$ من المعادلة الكلية للبطارية.

وتعد بطاريات تخزين المراكم الرصاصية في **الشكل 11–4** اختيارًا جيدًا للسيارات؛ لأنها تزود المحرك بطاقة ابتدائية عالية جدًّا في البداية، ولها زمن حفظ طويل قبل البيع، ويُعتمد عليها عند انخفاض درجات الحرارة.

ماذا قرأت؟ حدّد المواد التي تتأكسد والمواد التي تختزل عند شحن بطارية المركم الرصاصي.

بطاريات الليثيوم Lithium Batteries

على الرغم من أن بطاريات المركم الرصاصي موثوق بها ومناسبة للكثير من التطبيقات، فما زال المهندسون يطورون بطاريات بكتلة أقل وقدرة أكبر لتزويد الأجهزة بالطاقة؛ بدءًا من ساعة اليد إلى السيارات الكهربائية. وفي التطبيقات التي تكون فيها البطارية هي المكوّن الأهم ويجب تزويدها بكميات كبيرة من القدرة – كما في عملية تشغيل السيارات الكهربائية – تكون بطاريات المركم الرصاصي ثقيلة جدًّا ، لذا لا تكون عملية.

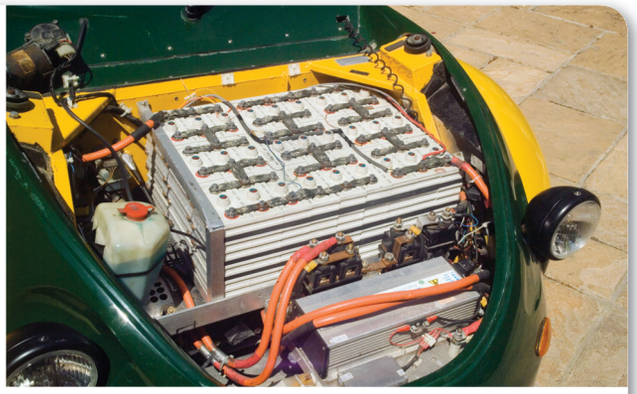
ولقد كان الحل في تطوير بطارية ذات وزن خفيف، تخزن كميات كبيرة من الطاقة بالنسبة لحجمها. لذا ركز المهندسون انتباههم على عنصر الليثيوم لسببين، هما: أن الليثيوم أخف فلز معروف، وأن له أقل جهد اختزال قياسي بالنسبة إلى العناصر الفلزية الأخرى 3.04 V– كما في **الجدول 1–4**. لذا تولد البطارية التي تؤكسد الليثيوم على الأنود 2.3 V تقريبًا أكثر من البطاريات المشابهة، وتؤدي إلى تأكسد الخارصين.

المفردات

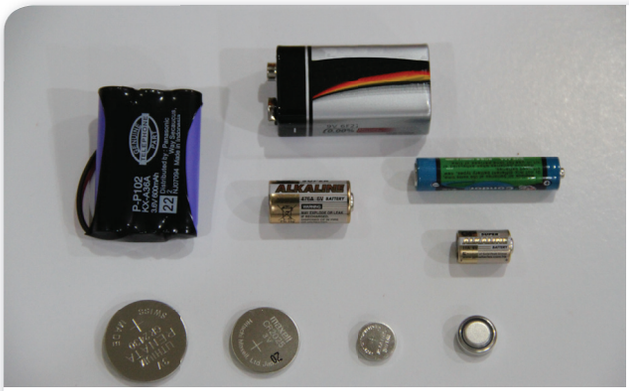
أصل الكلمة

السعة (Capacity):
من أصل لاتيني وتعني القدرة على الاستيعاب أو الاحتواء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



تزود بطاريات الليثيوم سيارة التجربة هذه بطاقة تجعلها تسير بسرعة قصوى مقدارها 113 km/h قبل أن يعاد شحنها . كما أنها تستطيع السير مسافة 320 km



تنتج بطاريات الليثيوم عادة 3 و 9 فولت، ولها عدة أحجام لتناسب الأجهزة المختلفة

الشكل 12-4 الصفات التي تجعل بطاريات الليثيوم الاختيار الأمثل للعديد من الاستعمالات هي خفة الوزن وطول العمر والجهد العالي.

قارن بين نصف تفاعل التأكسد للخارصين والليثيوم وجهود اختزالها القياسية.

$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \qquad (E^0_{Zn^{2+}|Zn} = -0.762\ V)$$

$$Li_{(s)} \rightarrow Li^+_{(aq)} + e^- \qquad (E^0_{Li^+|Li} = -3.04\ V)$$

$$E^0_{Zn^{2+}|Zn} - E^0_{Li^+|Li} = +2.28\ V$$

يمكن لبطاريات الليثيوم أن تكون أولية أو ثانوية اعتمادًا على أي تفاعلات اختزال تم دمجها مع تأكسد الليثيوم. تستخدم بعض بطاريات الليثيوم مثلاً تفاعل الكاثود نفسه الذي تستعمله الخلايا الجافة الخارصين والكربون، وهو اختزال أكسيد المنجنيز IV MnO_2 إلى أكسيد المنجنيز III Mn_2O_3، وتنتج هذه البطاريات تيارًا ذا جهد يساوي 3 V مقارنة بـ 1.5 V لخلايا الخارصين والكربون. وتستمر بطاريات الليثيوم فترة أطول من أنواع البطاريات الأخرى. ونتيجة لذلك تستعمل عادة في الساعات والحواسيب وآلات التصوير للحفاظ على الزمن والتاريخ والذاكرة والاستعدادات الشخصية حتى عند إطفاء الجهاز. والشكل **12–4** يوضح التطبيقات الحالية والمطورة لبطاريات الليثيوم.

ماذا قرأت؟ **اذكر** ثلاث مزايا لبطاريات الليثيوم.

خلايا الوقود Fuel Cells

ينفجر الهيدروجين بقوة كبيرة عند احتراقه في الهواء، وينتج عنه ضوء وحرارة.

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + \text{energy}$$

فهل يمكن أن يحدث هذا التفاعل تحت ظروف مضبوطة داخل الخلية؟

الربط مع الفيزياء **خلية الوقود** خلية جلفانية؛ حيث ينتج تأكسد الوقود طاقة كهربائية. وتختلف خلايا الوقود عن البطاريات الأخرى؛ لأنها تزود بالوقود باستمرار من مصدر خارجي. ويعتقد الكثيرون أن خلايا الوقود اختراع حديث، إلا أن الخلايا الأولى عُرضت عام 1839م عن طريق عالم الكيمياء الكهربائية البريطاني وليام جروف William Jrove والذي سمّى خليته بطارية الغاز. وقد بدأ بعض العلماء عملاً جادًّا في خمسينيات القرن الماضي لتطوير خلايا وقود عملية ذات كفاءة لبرامج الفضاء. وإذا كان على رواد الفضاء الطيران في سفن فضائية فإنهم يحتاجون إلى الماء للمحافظة على حياتهم في السفينة، ومصدر كهربائي موثوق به لتزويد أنظمة السفينة المختلفة

واقع الكيمياء في الحياة

خلايا الوقود



التقليل من التلوث تعد السيارات من أكبر مصادر تلوث الهواء في المدن. وقد أدى تزويد حافلات – تحت التجربة في بعض المدن الأوربية – بخلايا وقود الهيدروجين إلى إحداث فرق في كمية التلوث. كما تخلو عوادم هذه الحافلات من ثاني أكسيد الكربون أو أي من أكاسيد النيتروجين أو الكبريت. والماء النقي هو الناتج الوحيد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

بالكهرباء. والحاجتان السابقتان كلتاهما ساعدتا على تطوير خلايا وقود الهيدروجين التي تضبط عملية تأكسد الهيدروجين وتزوّد السفينة بالماء والكهرباء؛ إذ لا يصاحب ذلك إنتاج مواد جانبية ينبغي التخلص منها أو تخزينها على السفينة خلال الرحلة.

كيف تعمل خلية الوقود؟ لخلية الوقود – كما في الخلايا الجلفانية الأخرى – أنود وكاثود، وتتطلب محلولاً موصلاً؛ حتى تستطيع الأيونات الانتقال بين الأقطاب. والمحلول الموصل الشائع في خلية الوقود محلول قلوي من هيدروكسيد البوتاسيوم. وكل قطب عبارة عن وعاء أجوف، جدرانه من كربون مسامّيّ تسمح بالاتصال بين الحجرة الداخلية والمحلول الموصل المحيط بها. ويكتب نصف تفاعل الأكسدة للخلية على الأنود على النحو الآتي:

$$2H_{2(g)} + 4OH^-_{(aq)} \rightarrow 4H_2O_{(l)} + 4e^-$$

يستعمل التفاعل أيونات الهيدروكسيد المتوافرة في المحلول الموصل القلوي، ويطلق إلكترونات على الأنود. فتتدفق الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الهيدروجين خلال الدائرة الخارجية نحو الكاثود؛ حيث يحدث نصف تفاعل الاختزال على النحو الآتي:

$$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 4OH^-_{(aq)}$$

تختزل الإلكترونات الأكسجين عند وجود الماء لإنتاج 4 أيونات هيدروكسيد تعمل على تعويض أيونات الهيدروكسيد المستخدمة عند الأنود. وعند جمع معادلتي نصفي التفاعل تكون المعادلة الكلية هي نفس معادلة احتراق الهيدروجين في الأكسجين.

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

ولما كانت الخلية تزود بالوقود من مصدر خارجي فإن خلية الوقود لا تنفد مثل سائر البطاريات؛ حيث تستمر في إنتاج الكهرباء ما دام الوقود متوافرًا.

وتستخدم بعض الخلايا وقودًا غير الهيدروجين. فمثلاً يستبدل الهيدروجين بالميثان في بعض الخلايا إلا أنه قد يؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون كغاز الدفيئة. وتستعمل خلايا الوقود، كما في **الشكل 13-4**، صفيحة بلاستيكية تسمى غشاء تبادل البروتون aproton – exchange membrane (PEM)، مما يستبعد الحاجة إلى محلول موصل سائل.

ماذا قرأت؟ قارن خلايا الوقود بغيرها من الخلايا الجلفانية.

مهن في الكيمياء

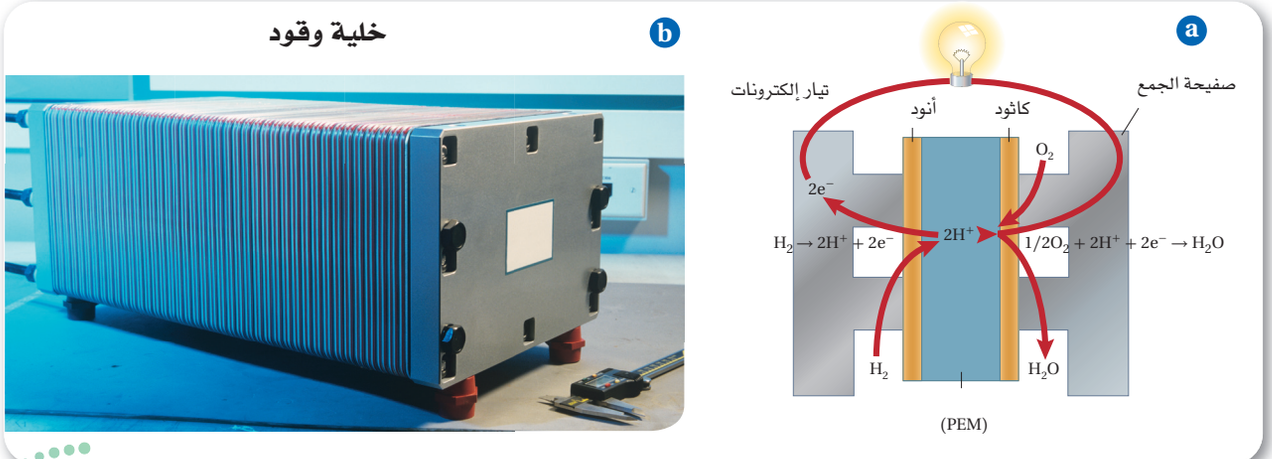
اختصاصي الطاقة البديلة

إذا كنت ترغب في اختراع أشياء جديدة وجعلها تعمل فقد تكون مهتمًّا بالمساعدة على تطوير مصادر طاقة لهذا العالم يعتمد عليها بصورة متزايدة. وتتضمن هذه التقنيات الطاقة الشمسية، والرياح، والطاقة الجوفية، وطاقة التيارات المائية، واستعمال تدرج درجات الحرارة في تجمعات الماء، وغيرها.

الشكل 13-4

a. يكون الهيدورجين هو الوقود. ويتم فصل نصفي التفاعل بواسطة غشاء لتبادل البروتونات؛ حيث تتدفق الإلكترونات المفقودة من عملية الأكسدة في الدائرة الخارجية للوصول إلى موقع الاختزال، وخلال انتقالها تقوم بعمل مفيد كتشغيل محرك إلكتروني. أما الناتج الجانبي لتفاعل الأكسدة والاختزال فهو الماء .

b. يمكن لخلايا الحزمة من نوع PEM إنتاج طاقة كافية لتشغيل سيارة كهربائية .



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

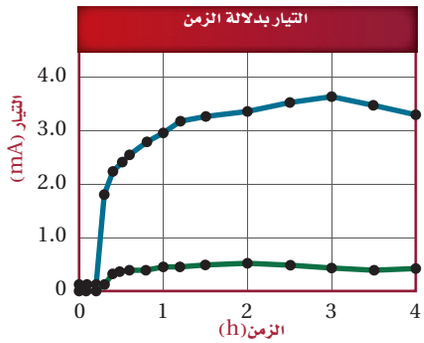
مختبر تحليل البيانات

تفسير الرسوم البيانية

كيف يمكنك الحصول على التيار الكهربائي من الميكروبات؟ درس العلماء استعمال الميكروبات كخلايا وقود حيوية؛ حيث تحوّل هذه الخلايا الطاقة الأيضية الميكروبية بصورة مباشرة إلى طاقة كهربائية. ويسهّل إلكترون وسيط انتقال الإلكترونات إلى القطب. والإلكترون الوسيط عبارة عن مركب يدخل ضمن سلسلة انتقال الإلكترون للخلايا ويسرق الإلكترونات المنتجة.

البيانات والملاحظات

يوضّح الرسم البياني التيار الناتج عن خلية وقود حيوية باستعمال إلكترون وسيط (الخط الأزرق)، ومن دون استعماله (الخط الأخضر).



التفكير الناقد

1. **استنتج** الزمن التقريبي لإدخال الإلكترون الوسيط.
2. **حدّد** هل أحدث إدخال الإلكترون الوسيط اختلافًا في إنتاج التيار؟ فسّر إجابتك.
3. **حلّل** ما أعلى شدة تيار تم الحصول عليها من الخلية؟

التآكل Corrosion

من المعروف أن تفاعلات الأكسدة والاختزال التلقائية تحدث في الخلايا الجلفانية، كما تحدث في الطبيعة أيضًا بشكل تلقائي، ومن ذلك تآكل الحديد، المعروف بالصدأ. **التآكل** هو خسارة الفلز الناتج عن تفاعل أكسدة واختزال بين الفلز والمواد التي في البيئة. وعلى الرغم من الاعتقاد أن الصدأ ناتج عن تفاعل الحديد مع الأكسجين إلا أنه تفاعل أكثر تعقيدًا. ولما كان الصدأ يحدث عند توافر كل من الماء والأكسجين، لذا فإن قطعة الحديد التي تركت معرضة للهواء والرطوبة تكون أكثر عرضة للصدأ، كما في **الشكل 14–4**؛ حيث يصدأ الجزء المتصل بالتربة الرطبة أولاً. ويبدأ الصدأ عند وجود شق أو كسر في سطح الحديد. ويصبح هذا الجزء أنود الخلية؛ حيث تبدأ ذرات الحديد في فقدان الإلكترونات، كما في **الشكل 15–4**.

$$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

وتصبح أيونات الحديد II جزءًا من المحلول المائي، في حين تتحرك الإلكترونات خلال القطعة الحديدية إلى منطقة الكاثود، فتصبح القطعة الحديدية هي الدائرة الخارجية والأنود في آنٍ واحد. ويقع الكاثود عادة على حافة قطرة الماء، حيث يتم الاتصال بين الماء والهواء وقطعة الحديد. وهناك تختزل الإلكترونات الأكسجين من الهواء، كما في المعادلة الآتية:

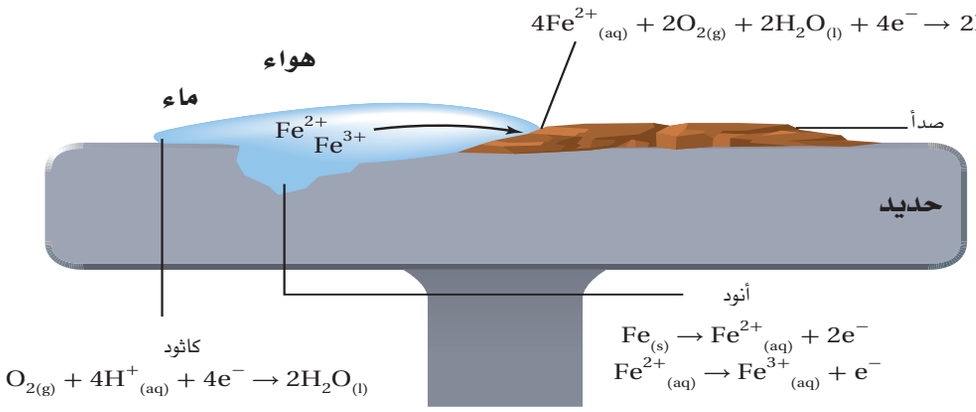
$$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

ويتم تزويد أيونات H^+ على الأرجح من تكوّن حمض الكربونيك الناتج عن ذوبان CO_2 من الهواء في الماء. ثم تتأكسد أيونات

الشكل 14-4 يتأكسد الحديد ببطء عند تركه مكشوفًا ومعرضًا للهواء والرطوبة مكونًا الصدأ (Fe_2O_3).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 4-15 يحدث التآكل عندما يكوّن كل من الماء والهواء والحديد خلية جلفانية.

سمّ المادتين اللتين تأكسدتا عند الأنود.

الحديد Fe^{2+} في المحلول إلى أيونات Fe^{3+} عن طريق التفاعل مع الأكسجين الذائب في الماء. وتتحد أيونات Fe^{3+} بالأكسجين لتكوين صدأ غير ذائب من Fe_2O_3:

$$4Fe^{2+}_{(aq)} + 2O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^- \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + H^+_{(aq)}$$

وعند جمع المعادلات الثلاث تنتج المعادلة الكلية لتفاعل الخلية لتآكل الحديد:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)}$$

والصدأ عملية بطيئة؛ لأن قطرات الماء تحتوي على كمية قليلة من الأيونات، لذا فهي محاليل موصلة غير جيدة. أما إذا كان الماء يحتوي على كمية كبيرة من الأيونات – كما في ماء البحر أو المناطق التي ترش فيها الطرق بالملح شتاءً – فإن التآكل يحدث أسرع؛ لأن الماء يصبح محلولاً موصلاً جيدًا .

منع التآكل لما كان تآكل السيارات والجسور والسفن وهياكل المباني الفولاذية والعديد من الأشياء الفلزية يكلف أكثر من 100 بليون دولار من الخسائر سنويًّا في الولايات المتحدة، لذا تم ابتكار طرائق عديدة لتقليل هذا التآكل. ومن هذه الطرائق عمل غطاء من الطلاء لعزل الماء والهواء. ونظرًا لأن الطلاء يتلف مع الزمن، كالجسر الذي في **الشكل 16–4** مثلًا، فإنه يجب إعادة طلائه مرات عديدة.



الشكل 4-16 لما كان التآكل يسبب الكثير من الضرر، فإنه من الأهمية بمكان إيجاد طرائق لمنع الصدأ. والطلاء أو أي غطاء حماية آخر هو أحد طرائق حماية هياكل المباني الفولاذية من التآكل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

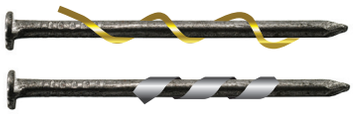
تجربة

ملاحظة التآكل

أي الفلزات ستتآكل؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل ورق **الصنفرة** لتلميع سطوح أربعة **مسامير حديد**، وغلّف مسمارين **بشريط ماغنسيوم**، وغلف مسمارين آخرين بقطع من **النحاس**، وتأكد من إحكام لفّ المسامير حتى لا تنزلق.
3. ضع المسامير في **كؤوس** منفصلة، وأضف **ماءً مقطّرًا** إلى أحد المسمارين الملفوفين بالماغنسيوم وأحد المسمارين الملفوفين بالنحاس. وأضف كمية ماء كافية حتى تغمر المسمارين، ثم أضف **ماء مالحًا** إلى **الكأسين الأخريين**، وسجل ملاحظاتك عن المسامير في كل كأس.



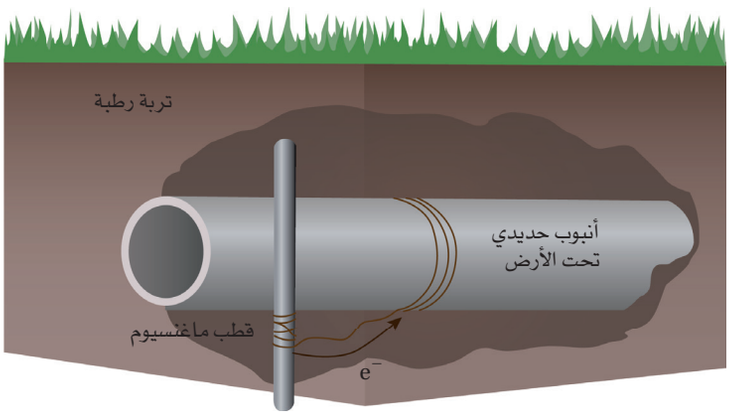
4. اترك الكؤوس في أكثر الأماكن دفئًا خلال الليل، وافحص المسامير والمحاليل في اليوم التالي، وسجل ملاحظاتك.

التحليل

1. **صف** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.
2. **صف** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالماغنسيوم في الماء المقطر والماء المالح بعد تركها خلال الليل.
3. **فسّر** الاختلاف بين المسامير الملفوفة بالنحاس والمسامير الملفوفة بالماغنسيوم.

لما كانت هياكل السفن تتصل بصورة دائمة بالماء المالح، لذا فإن منع التآكل شيء ضروري. وعلى الرغم من إمكانية طلاء الهيكل إلا أن هناك طريقة أخرى تستعمل في تقليل التآكل؛ حيث توصل كتل من الفلز مثل الماغنسيوم أو الألومنيوم أو التيتانيوم بالهيكل الفولاذي، فتتأكسد هذه الكتل أسهل من الحديد، وتصبح الأنود في خلية التآكل، في حين يبقى حديد الهيكل دون تآكل أو أكسدة. وتستعمل التقنية نفسها في حماية أنابيب الحديد المدفونة في الأرض؛ حيث يلف الماغنسيوم بواسطة أسلاك بالأنابيب، فيتآكل الماغنسيوم بدلاً من الأنابيب، كما في **الشكل 17-4**.

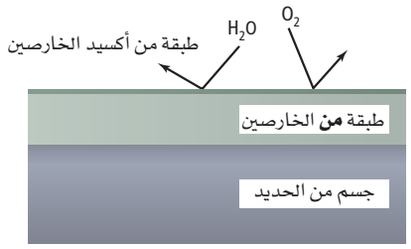
الشكل 17-4 يستعمل الماغنسيوم أو أي فلز نشط آخر لمنع التآكل؛ إذ يتأكسد الماغنسيوم الملفوف حول أنابيب الحديد المدفونة في الأرض أولًا، مما يساعد على منع تأكل الأنابيب.



الأكسدة : $Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

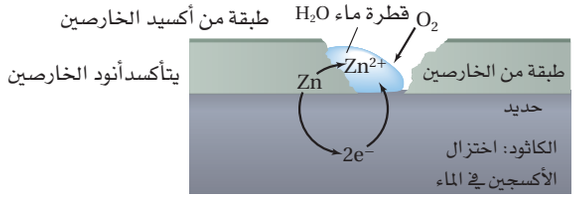
الاختزال : $O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



جسم مجلفن بطبقة خارصين سليمة

تعزل طبقة الخارصين الحديد عن الماء والهواء عن طريق تكوين حاجز من أكسيد الخارصين يصد الماء والأكسجين .



جسم مجلفن بطبقة خارصين مشققة

إذا تشققت طبقة الخارصين يصبح الخارصين هو الأنود، المضحي؛ حيث يتأكسد غطاء الخارصين بدلاً من الحديد

والطريقة الأخرى لمنع التآكل هي **الجلفنة**؛ إذ يتم بها تغليف الحديد بفلز أكثر مقاومة للتأكسد. وكمثال على ذلك يتم تغليف الحديد بطبقة من الخارصين؛ إما عن طريق غمس القطعة الحديدية بمصهور الخارصين، وإما بطلاء الجسم بالخارصين كهربائيًّا. وعلى الرغم من أن الخارصين يتأكسد أسهل من الحديد إلا أنه أحد العناصر التي تحمي نفسها، وتتضمن الألومنيوم والكروم. فعند تعرضها للهواء يتأكسد سطحها مكوّنًا طبقة رقيقة من أكسيد الفلز تحمي الفلز من التأكسد مرة أخرى.

وتحمي الجلفنة الحديد بطريقتين ما دامت طبقة الخارصين سليمة؛ إذ لا تمكّن الماء والهواء من الوصول إلى سطح الحديد. ولكن عند تشقق طبقة الخارصين فإنه يقوم بحماية الحديد من التآكل السريع بأن يصبح الخارصين أنود الخلية الجلفانية المتكونة ملامسة الهواء والماء للحديد والخارصين في الوقت نفسه. ويوضح **الشكل 18–4** كيف تعمل طريقتا الحماية من التآكل.

الشكل 18-4 تساعد الجلفنة على منع التآكل بطريقتين.

التقويم 4-2

الخلاصة

- تستخدم البطاريات الأولية مرة واحدة فقط، ولكن يمكن شحن البطاريات الثانوية.
- تُزوَّد البطارية عند شحنها بطاقة كهربائية تعكس اتجاه تفاعل البطارية التلقائي.
- خلايا الوقود بطاريات تكون فيها المادة المتأكسدة وقودًا من مصدر خارجي.
- طرائق الحماية من التآكل هي: الطلاء، أو التغليف بفلز آخر، أو استعمال أنود مضحٍّ.

15. الفكرة الرئيسة **حدّد** ما الذي يتأكسد؟ وما الذي يختزل في بطارية الخلية الجافة الخارصين والكربون؟ وما الخواص التي تجعل الخلية الجافة القلوية أكثر تطورًا من أنواع البطاريات الجافة الأقدم؟

16. **فسر** ماذا يحدث عند إعادة شحن البطارية؟

17. **صف** أنصاف التفاعل التي تحدث في خلية وقود الهيدروجين، واكتب معادلة التفاعل الكلية.

18. **صف** عمل أنود عندما يستخدم قطبًا مضحّيًا. وفيم يتشابه عمله مع الجلفنة؟

19. **فسّر** لماذا يعد الليثيوم اختيارًا جيدًا ليكون أنودًا للبطارية؟

20. **احسب** باستعمال بيانات الجدول 1–4 جهد خلية وقود الهيدروجين–الأكسجين الموضحة في صفحة 138.

21. **صمّم تجربة** استخدم معرفتك بالأحماض في ابتكار طريقة لتحديد ما إذا كان المركم الرصاصي مشحونًا بصورة كاملة أم أن شحنه بدأ ينفد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–3

التحليل الكهربائي Electrolysis

الأهداف

- **تصف** كيف يمكن عكس تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي في الخلية الكهروكيميائية.
- **تقارن** التفاعلات المرتبطة مع التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم بالتفاعلات المرتبطة مع التحليل الكهربائي لماء البحر.
- **تناقش** أهمية التحليل الكهربائي في عملية صهر الفلزات وتنقيتها.

مراجعة المفردات

تفاعل الأكسدة والاختزال التفاعل الذي يتضمن فقد واكتساب الإلكترونات.

المفردات الجديدة

التحليل الكهربائي

خلية التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة **يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.**

الربط مع الحياة لا يتطلب الهبوط بالدراجة الهوائية إلى أسفل التل بذل أي جهد؛ لأنها تهبط بفعل الجاذبية. ولكن الأمر يختلف عند الصعود إلى أعلى التل؛ إذ عليك بذل طاقة كبيرة لقيادة الدراجة.

عكس تفاعلات الأكسدة والاختزال
Reversing Redox Reactions

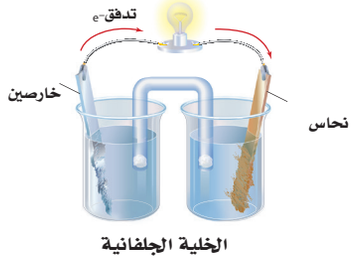
عندما تولّد بطاريةٌ تيارًا كهربائيًّا تتدفق الإلكترونات الناتجة عند الأنود من خلال الدائرة الخارجية إلى الكاثود؛ حيث تستعمل في تفاعل الاختزال. والبطاريات الثانوية نوع من البطاريات يمكن إعادة شحنها عن طريق تمرير تيار كهربائي من خلالها في الاتجاه المعاكس. ولمساعدتك على فهم العملية ادرس الخلايا الكهروكيميائية في **الشكل 19–4**؛ حيث تحتوي الكؤوس التي في الجهة اليسرى على قطعة خارصين في محلول أيونات الخارصين، في حين تحتوي الكؤوس التي في الجهة اليمنى على قطعة نحاس في محلول أيونات النحاس. وتزود إحدى الخلايا الكهروكيميائية المصباح بالكهرباء لإضاءته عن طريق تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وتتدفق الإلكترونات تلقائيًّا من جهة الخارصين إلى جهة النحاس مولّدة تيارًا كهربائيًّا. ويستمر التفاعل حتى تستهلك قطعة الخارصين أو تنفد أيونات النحاس، وعندئذٍ يتوقف التفاعل. إلا أنه يمكن تجديد الخلية إذا تم تزويدها بتيار في الاتجاه المعاكس باستعمال مصدر طاقة خارجي، وهو مطلوب؛ لأن التفاعل في الاتجاه العكسي غير تلقائي. وإذا تم تزويد الخلية بطاقة خارجية لفترة زمنية كافية فسوف تعود البطارية إلى قوتها الأصلية تقريبًا.

ويسمى استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي **التحليل الكهربائي**. وتسمى الخلية الكهروكيميائية التي يحدث فيها تحليل كهربائي **خلية التحليل الكهربائي**. فعند إعادة شحن بطارية ثانوية مثلاً فإنها تعمل عمل خلية تحليل كهربائي.



خلية التحليل الكهربائي

عندما يتم تزويد الخلية بطاقة خارجية ينعكس تدفق الإلكترونات ويحدث التفاعل غير التلقائي، الذي يستعيد الوضع الأصلي للخلية.



الخلية الجلفانية

تعمل أكسدة الخارصين في هذه الخلية على تزويد المصباح بالإلكترونات لإضاءته واختزال أيونات النحاس. ويستمر التفاعل التلقائي حتى يستهلك الخارصين.

الشكل 19-4 يمكن أن تكون خلية الخارصين والنحاس الكهروكيميائية خلية جلفانية أو خلية تحليل كهربائي.

استنتج أي الفلزين يتأكسد، وأيهما يختزل في كل من الخليتين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تطبيقات التحليل الكهربائي
Applications of Electrolysis

تقوم الخلايا الجلفانية بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية نتيجة تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي. وتعمل خلايا التحليل الكهربائي على عكس ذلك؛ حيث تستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي. ومن الأمثلة الشائعة التحليل الكهربائي للماء؛ حيث يعد هذا التفاعل عكس احتراق الهيدروجين في خلية الوقود:

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + O_{2(g)}$$

والتحليل الكهربائي للماء هو إحدى طرائق إنتاج الهيدروجين لاستعمالات تجارية.

التحليل الكهربائي لمصهور NaCl لمّا كان التحليل الكهربائي يستطيع تحليل الماء إلى عناصره، لذا فإنه يمكنه أيضًا أن يحلل مصهور كلوريد الصوديوم إلى فلز الصوديوم وغاز الكلور. وتحدث هذه العملية في حجرة خاصة تعرف بخلية داون Down's cell ، كما في **الشكل 20–4**؛ حيث يتكون الموصل في الخلية من مصهور كلوريد الصوديوم نفسه. تذكر أن المركبات الأيونية يمكنها توصيل التيار الكهربائي فقط عندما تكون أيوناتها حرة الحركة، وذلك عند ذوبانها في الماء أو انصهارها.

يتأكسد أيون الكلوريد عند الأنود إلى غاز الكلور Cl_2:

$$2Cl^-_{(l)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

أما عند الكاثود فتختزل أيونات الصوديوم إلى فلز الصوديوم:

$$Na^+_{(l)} + e^- \rightarrow Na_{(l)}$$

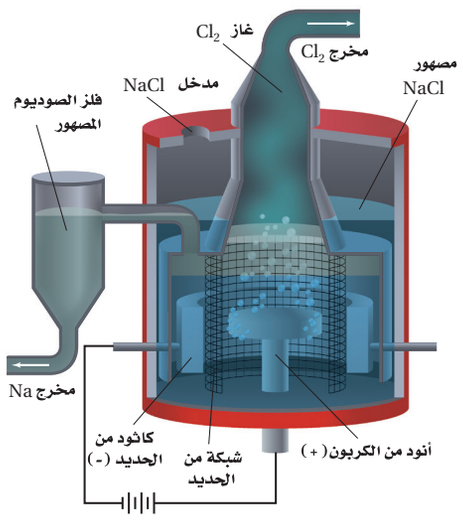
ويكون التفاعل الكلي للخلية كما يلي

$$2Na^+_{(l)} + 2Cl^-_{(l)} \rightarrow 2Na_{(l)} + Cl_{2(g)}$$

ويمكن تقدير أهمية خلية داون بصورة ممتازة اعتمادًا على أهمية الدور الذي يؤديه كل من الصوديوم والكلور في حياة كل فرد؛ إذ يستعمل الكلور في جميع أنحاء العالم في تنقية المياه لأغراض الشرب والسباحة. وتحتوي الكثير من منتجات التنظيف التي نستعملها - وخصوصًا المبيضات المنزلية - على مركبات الكلور. كما تُتخذ مركبات الكلور وسيلة لمعالجة الكثير من المنتجات، ومنها الورق والبلاستيك ومبيدات الحشرات والقماش والأصباغ والطلاء التي تحتوي على الكلور أو استعمل في إنتاجها.

ويستعمل الصوديوم في حالته النقية مبرِّدًا في المفاعلات النووية، وفي مصابيح الصوديوم الغازية المستعملة في الإضاءة الخارجية. أما في مركباته الأيونية فما عليك إلا النظر في قائمة محتويات المنتجات المستهلكة لتجد مدى تنوع أملاح الصوديوم في المنتجات التي نستخدمها ونأكلها.

ماذا قرأت؟ فسّر لماذا يجب أن يكون كلوريد الصوديوم مصهورًا في خلية داون؟



خلية داون Down's cell

الشكل 20-4 في خلية داون، تستخدم الإلكترونات التي يوفرها المولد لاختزال أيونات الصوديوم وعند انتزاع الإلكترونات من الأنود تتأكسد أيونات الكلوريد إلى غاز الكلور .

المطويات

ضمّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

تجربة عملية

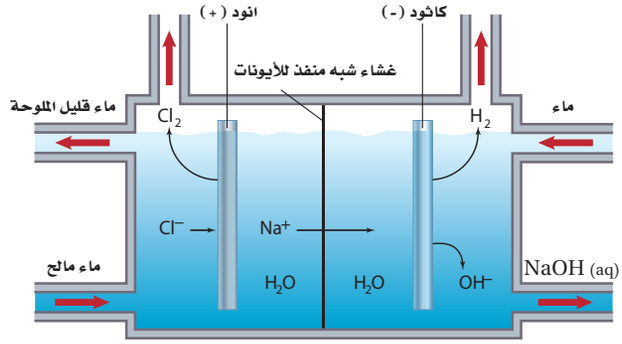
تحليل الماء كهربائياً

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



يستعمل الكلور في صناعة بوليمر كلوريد الفينيل الذي يستعمل في صناعة الأنابيب.



تقوم بعض الصناعات على استعمال غاز الهيدروجين والكلور ومحلول هيدروكسيد الصوديوم التي تنتج عن التحليل الكهربائي لماء البحر.

الشكل 4-21 لا ينتج الصوديوم عن التحليل الكهربائي لماء البحر؛ لأن جزيئات الماء لديها ميل للاختزال أكثر من الصوديوم.

التحليل الكهربائي لماء البحر يتم تحليل ماء البحر – وهو محلول مائي لكلوريد الصوديوم – بواسطة التحليل الكهربائي أيضًا، ويوضح **الشكل 4–21** خلية تحليل كهربائي نموذجية، ونواتج التحليل الكهربائي؛ حيث يوجد احتمال لحدوث تفاعلين عند الكاثود، هما: اختزال أيونات الصوديوم، أو الهيدروجين في جزيئات الماء.

$$Na^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Na_{(s)}$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$$

إلا أن اختزال أيونات الصوديوم Na^+ لا يحدث؛ بسبب أن اختزال أيونات الهيدروجين في الماء أسهل حدوثًا، ومن ثمّ يتم الاختزال التفضيلي. وكذلك هناك احتمال لحدوث تفاعلين عند الأنود، هما تأكسد أيونات الكلوريد، أو تأكسد الأكسجين في جزيئات الماء.

$$2Cl^-_{(aq)} \rightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e-$$

إلا أن تأكسد أيونات الأكسجين لا يحدث؛ بسبب أن تأكسد أيونات الكلوريد أسهل حدوثًا، لذلك يحدث تفاعل الأكسدة للكلور في جزيئات الماء. أما التفاعل الكلي للخلية فهو على النحو الآتي:

$$2H_2O_{(l)} + 2NaCl_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2NaOH_{(aq)}$$

وتكون النواتج الثلاثة جميعها مواد ذات أهمية تجارية.

ماذا قرأت؟ حدّد المواد التي تأكسدت والتي اختزلت في التحليل الكهربائي لماء البحر.

إنتاج الألومنيوم كان فلز الألومنيوم حتى أواخر القرن التاسع عشر ذا قيمة أكثر من الذهب؛ إذ لم يكن أحد يعرف كيف يُنقّى بكميات كبيرة. قام تشارلز مارتن هول Charles Martin Hall وهو في سن 22 عامًا (1863–1914م) عام 1886م بتطوير عملية إنتاج الألومنيوم بالتحليل الكهربائي؛ حيث استعمل الكير (آلة الحداد) في الحصول على الحرارة، والبطاريات المنزلية في الحصول على الكهرباء، واتخذ من المقلاة أقطابًا. وفي الوقت نفسه اكتشف أحد طلبة لوتشاتلييه Lechatelie وهو هيرولت T.Heroult البالغ من العمر 22 عامًا أيضًا (1863–1914م) العملية نفسها. لذا تسمى هذه العملية هول–هيرولت،

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

يختزل **Reduce**:

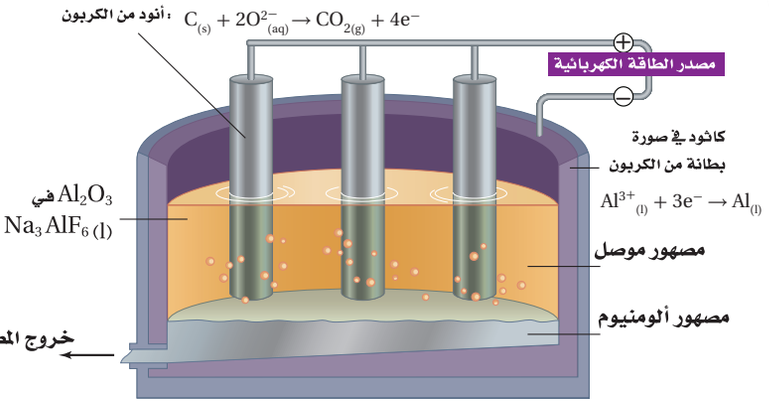
الاستعمال العلمي: تقليل عدد التأكسد بإضافة إلكترونات. يختزل الخارصين أيونات النحاس II إلى ذرات النحاس بفقدان إلكترونين.

الاستعمال الشائع: تقليل الحجم أو الكمية أو البعد أو العدد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



يوفر كل طن يعاد تدويره من الألومنيوم كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية التي تستعمل في إنتاج ألومنيوم جديد من خاماته.



الشكل 22-4 تتم عملية هول - هيرولیت عند درجة 1000°C في مصهر مشابه لهذا . ويستعمل الجرافيت أنودًا وكاثودًا . وتتم إضافة الألومنيوم المعاد تدويره إلى الخلية مع الألومنيوم لتساعد على خفض درجة الانصهار.

وهي موضحة في **الشكل 22–4**. يتم الحصول على فلز الألومنيوم في النموذج الحديث لطريقة هول- هيرولیت من التحليل الكهربائي لأكسيد الألومنيوم المستخلص من خام البوكسيت $Al_2O_3.2H_2O$؛ حيث يذوب أكسيد الألومنيوم عند 1000°C في مصهور الكريوليت الصناعي Na_3AlF_6 الذي يعد مركبًا آخر للألومنيوم؛ حيث تُغطى الخلية من الداخل بطبقة من الجرافيت لتعمل عمل كاثود للتفاعل، كما في **الشكل 22–4**. وهناك مجموعة أخرى من أصابع الجرافيت تُغمس في المصهور وتعمل عمل الأنود، ومن ثم يحدث التفاعل الآتي عند الكاثود:

$$Al^{3+}_{(l)} + 3e^- \rightarrow Al_{(l)}$$

يستقر الألومنيوم المصهور في قاع الخلية، ويسحب بصورة دورية. وتتأكسد أيونات الأكسيد عند الأنود في نصف التفاعل الآتي:

$$2O^{2-}_{(aq)} \rightarrow O_{2(g)} + 4e^-$$

لما كانت درجات الحرارة عالية، لذا فإن الأكسجين الناتج يتفاعل مع كربون الأنود لتكوين ثاني أكسيد الكربون:

$$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$$

تستخدم عملية هول- هيرولیت كميات ضخمة من الطاقة الكهربائية؛ لذا يتم إنتاج الألومنيوم في مصانع قريبة من محطات طاقة كهربائية؛ حيث تقل تكلفة الطاقة الكهربائية. والكمية الهائلة من الكهرباء التي يتطلبها إنتاج الألومنيوم من الخام هي السبب الأولي لإعادة تدوير الألومنيوم، الذي كان قد حلّل كهربائيًّا من قبل، لذا فالطاقة الوحيدة اللازمة لجعله قابلاً للاستعمال هي الحرارة التي يتطلبها صهره في الفرن.

ماذا قرأت؟ **فسر** يجب استبدال قضبان الجرافيت (الأنود) باستمرار.

تنقية الخامات يستعمل التحليل الكهربائي أيضًا في تنقية الفلزات، ومنها النحاس. ويستخرج معظم النحاس على شكل خامات الكالكوبرايت $CuFeS_2$ والكالكوسايت Cu_2S والملاكايت $Cu_2CO_3(OH)_2$. وتعد الكبريتيدات أكثر توافرًا، وتنتج فلز النحاس عند تسخينها بقوة في وجود الأكسجين.

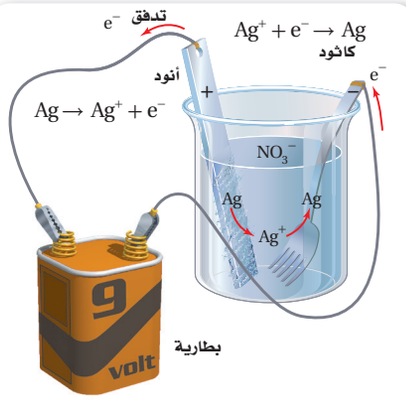
$$Cu_2S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Cu_{(s)} + SO_{2(g)}$$

تجربة عملية

الطلاء الكهربائي

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448



الشكل 23-4 هناك حاجة إلى الطاقة لتأكسد الفضة على الأنود واختزالها على الكاثود. وفي خلية التحليل الكهربائي المستعملة للطلاء بالفضة، يوضع الجسم أو الشيء المراد طلاؤه على الكاثود؛ حيث يتم اختزال أيونات الفضة في المحلول إلى ذرات الفضة، وتترسب على الجسم.

ويحتوي النحاس المستخلص من هذه العملية على الكثير من الشوائب، ومن ثم يلزم تنقيته. لذا يصب مصهور النحاس في قوالب كبيرة وسميكة تستعمل مصاعد في خلية تحليل كهربائي تحتوي على محلول كبريتات النحاس II. أما كاثود الخلية فهو شريحة رقيقة من النحاس النقي. وتتأكسد ذرات النحاس غير النقي على الأنود خلال مرور التيار الكهربائي في الخلية إلى أيونات النحاس II. وتنتقل أيونات النحاس خلال المحلول إلى الكاثود؛ حيث يتم اختزالها إلى ذرات النحاس مرة أخرى، وتصبح هذه الذرات جزءًا من الكاثود، في حين تترسب الشوائب في قاع الخلية.

الطلاء بالكهرباء يمكن طلاء الأشياء كهربائيًّا بفلز مثل الفضة بطريقة تشبه طريقة تنقية النحاس؛ حيث يوصل الجسم المراد طلاؤه بالفضة بكاثود خلية تحليل كهربائي، ويكون الأنود عبارة عن قطعة فضة نقية، كما في **الشكل 23-4**، فتتأكسد الفضة عند الأنود إلى أيونات الفضة عند انتزاع الإلكترونات منها بواسطة مصدر الطاقة. وتختزل عند الكاثود أيونات الفضة إلى فلز الفضة بواسطة إلكترونات من مصدر الطاقة الخارجي، فتكوّن الفضة طبقة رقيقة تغلف الجسم. لذا يجب مراقبة شدة التيار المار في الخلية والتحكم فيها للحصول على طبقة تغليف فلزية ناعمة ومتساوية.

وتستعمل فلزات أخرى للطلاء الكهربائي. ولعل المجوهرات المطلية بالذهب تكون مألوفة لديك، وقد تُعجب بسيارة طُليت أجزاؤها الفولاذية – مثل ماصات الصدمات – لتكون مقاومة للتآكل؛ حيث تطلى بالنيكل أولاً ثم بالكروم.

التقويم 4-3

الخلاصة

- يسبب مصدر خارجي للطاقة في خلية التحليل الكهربائي حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي.
- يُنتج التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم فلز الصوديوم وغاز الكلور، في حين ينتج التحليل الكهربائي لماء البحر غاز الكلور والهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم.
- يتم تنقية الفلزات ومنها النحاس في خلايا التحليل الكهربائي.
- يستعمل التحليل الكهربائي في طلاء الأجسام والأشياء وإنتاج الألومنيوم النقي من خامه.

22. الفكرة الرئيسة **عرّف** التحليل الكهربائي، واربطه مع تلقائية تفاعل الأكسدة والاختزال.

23. **فسّر** اختلاف نواتج التحليل الكهربائي لكل من مصهور كلوريد الصوديوم وماء البحر.

24. **صف** كيف تتم تنقية النحاس المستخرج من مصهور خامه بالتحليل الكهربائي؟

25. **فسّر** أهمية إعادة تدوير الألومنيوم، بالرجوع إلى عملية هول–هيرولیت .

26. **صف** الأنود والكاثود في خلية تحليل كهربائي يستعمل فيها الذهب لطلاء الأشياء والأجسام.

27. **فسّر** لماذا يحتاج إنتاج كيلوجرام واحد من أيونات الفضة بواسطة التحليل الكهربائي إلى طاقة كهربائية أقل من إنتاج كيلوجرام واحد من أيونات الألومنيوم؟

28. **احسب** جهد خلية داون باستعمال الجدول 1–4، وهل يجب أن يكون هذا الجهد موجبًا أو سالبًا؟

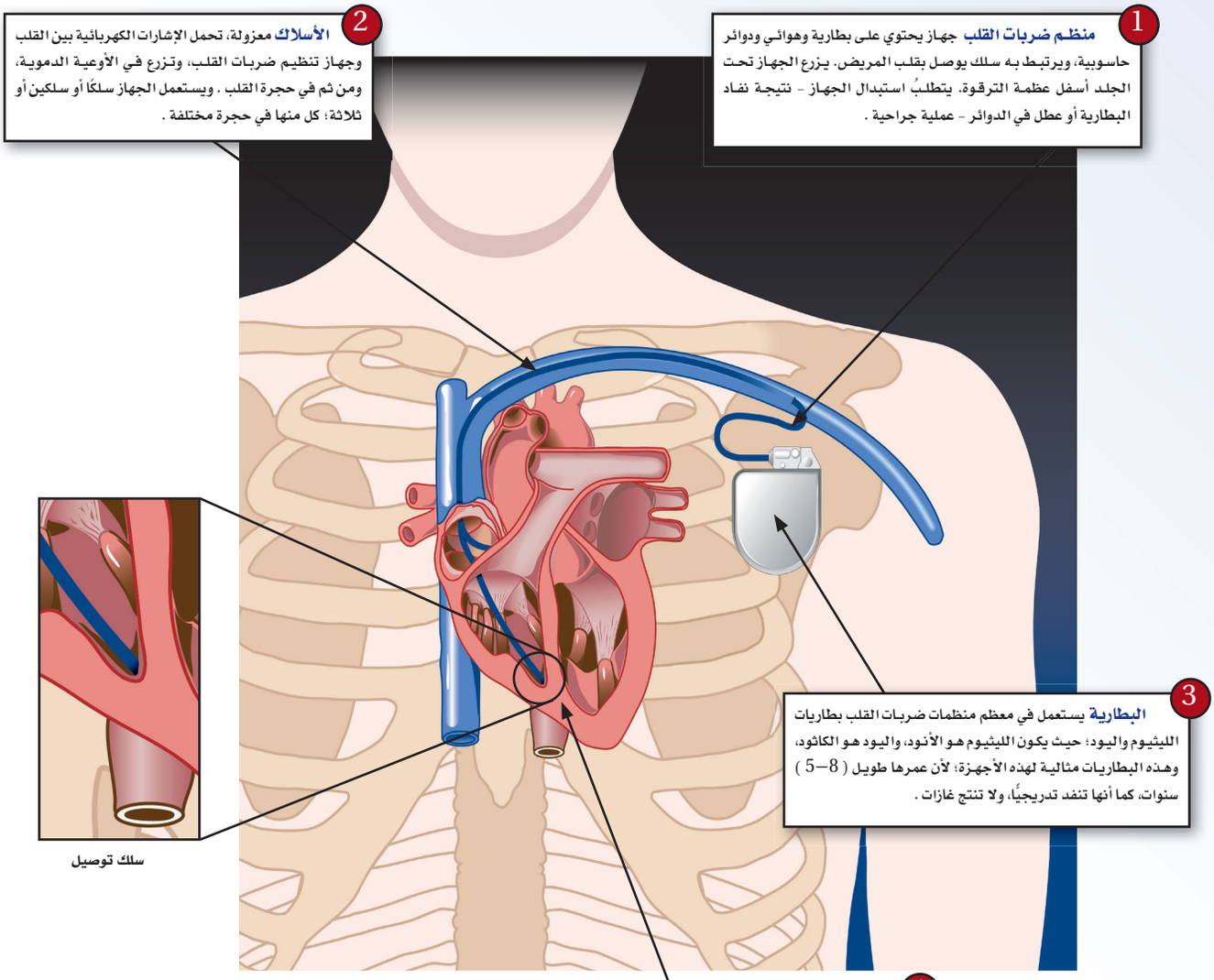
29. **لخص** اكتب فقرة تتعلق بكل هدف من الأهداف الثلاثة للقسم 3–4 بلغتك الخاصة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

كيف تعمل الأشياء؟

منظم ضربات القلب: The Pacemaker

يتكون القلب من أنسجة عضلية تنقبض وتنبسط باستمرار، وينتج هذا الخفقان عن نبضات كهربائية تتحرك على طول مسارات تتخلل القلب. وتولد مجموعة من الخلايا المتخصصة في الجدار العلوي من الأذين الأيمن للقلب – الحجرة العلوية – نبضات كهربائية، وإذا فشلت هذه الخلايا في العمل أو تعطلت طرائق النبضات الكهربائية فإن القلب لا يخفق بصورة طبيعية. ومنظم ضربات القلب جهاز كهربائي يراقب ضربات القلب غير الاعتيادية ويصححها. فكيف يعمل هذا الجهاز؟



الكتابة في الكيمياء

لخص منظم ضربات القلب هو مثال على تقدم التكنولوجيا الطبية. اكتب فقرة عن طريقة غيرت فيها التكنولوجيا الطبية حياتك أو حياة من تعرفه. كيف يمكن للتكنولوجيا الطبية أن تغير المستقبل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

مختبر الكيمياء

قياس جهد الخلية الجلفانية

الخلفية النظرية **عند توصيل نصفي خلية ينتج فرق جهد يمكن قياسه بالفولتمتر.**

السؤال كيف يقارن الجهد المقيس بالجهد المحسوب للخلية الجلفانية؟

المواد والأدوات اللازمة

- قطع فلزية من النحاس والألومنيوم والخارصين والماغنسيوم قياسها (0.6 cm × 1.3 cm) تقريبًا
- 1M نترات النحاس II
- 1M نترات الألومنيوم
- 1M نترات الخارصين
- 1M نترات الماغنسيوم
- طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 فجوة
- عدد 5 ماصات
- مقياس فرق الجهد (فولتمتر)
- 1M نترات البوتاسيوم
- ملاقط
- صوف أو ورق زجاج
- جدول جهود الاختزال القياسية

إجراءات السلامة



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. خطّط كيف تقوم بترتيب الخلايا الجلفانية باستعمال مجموع الفلزات الأربعة في طبق التفاعلات البلاستيكي (24 فجوة). دع معلمك يوافق على الخطة.
3. انقع قطعًا من ورق الترشيح في محلول نترات البوتاسيوم لاتخاذها قنطرة ملحية، وثبتها بملاقط .
4. ركّب الخلايا باستعمال الفلزات الأربعة و 1M من محاليلها، وضع الفلزات في التجويف الذي يحتوي على المحلول المناسب. ضع الخارصين مثلاً في التجويف الذي يحتوي على نترات الخارصين، واستعمل قنطرة ملحية مختلفة لكل خلية، ثم اربط مقياس فرق الجهد بالفلزات. وإذا حصلت على قراءة مقياس فرق الجهد بالسالب فاعكس التوصيل.
5. سجّل في جدول البيانات أي الفلزات أنود، وأيها كاثود في كل خلية. فالطرف الأسود لمقياس فرق الجهد يوصل بالأنود، في حين يوصل الطرف الأحمر لمقياس فرق الجهد بالكاثود.
6. سجّل فرق الجهد لكل خلية.
7. **التنظيف والتخلص من النفايات** استعمل الملاقط لإزالة القطع الفلزية من طبق التفاعلات، ونظفها بورق الزجاج أو الصوف، ثم اغسلها بالماء.

التحليل والاستنتاج

1. **طبق** اكتب في جدول البيانات معادلات أنصاف التفاعل التي تحدث عند الأنود والكاثود في كل خلية جلفانية، ثم ابحث عن جهود أنصاف التفاعل في **الجدول 1–4**، وسجّلها في الجدول.
2. **احسب** الجهد النظري لكل خلية جلفانية وسجّله.
3. **توقع** ترتيب الفلزات، بدءًا من أكثرها نشاطًا إلى أقلها، اعتمادًا على بياناتك.
4. **تحليل الخطأ** احسب النسبة المئوية للخطأ، ولماذا تكون هذه النسبة مرتفعة في بعض الخلايا ومنخفضة في بعضها الآخر؟

الاستقصاء

صمّم تجربة لتقليل النسبة المئوية للخطأ التي نوقشت في السؤال 4.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائيــة، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

4-1 الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجةً إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط)، حيث يحدث الاختزال.

المفردات

- القنطرة الملحية
- الخلية الكهروكيميائية
- الخلية الجلفانية
- نصف الخلية
- الأنود
- الكاثود
- جهد الاختزال
- قطب الهيدروجين القياسي

المفاهيم الرئيسة

- يحدث تفاعل الأكسدة والاختزال في الخلايا الجلفانية على أقطاب منفصلة بعضها عن بعض.
- الجهــد القياسي لنصف خليــة التفاعل هو جهد التيــار الناتج عند اقترانها بقطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية.
- يكون جهد اختزال نصف خلية ســالبًا إذا حدث لها تأكســد عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي، ويكون لها جهد اختزال موجب إذا حدث لها اختزال عند توصيلها بقطب الهيدروجين القياسي.
- الجهد القياسي لخلية جلفانية هو الفرق بين جهود الاختزال لأنصاف الخلايا:

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

4-2 البطاريات

الفكرة الرئيسة البطاريات خلايا جلفانية تستعمل تفاعلات تلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.

المفردات

- البطارية
- خلية الوقود
- الخلية الجافة
- التآكل
- البطارية الأولية
- الجلفنة
- البطارية الثانوية

المفاهيم الرئيسة

- تستعمل البطارية الأولية مرة واحدة، في حين يمكن شحن البطارية الثانوية.
- يتم تزويد البطارية عند شحنها بطاقة كهربائية تعكس اتجاه تفاعل البطارية التلقائي.
- تحصل بطاريات خلايا الوقود على المادة المتأكسدة من مصدر خارجي.
- طرائق الحماية من التآكل هي: الطلاء، والتغليف بفلز آخر (الجلفنة)، واستعمال الأنود المضحى.

4-3 التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليــل الكهربائي إلى حــدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.

المفردات

- التحليل الكهربائي
- خلية التحليل الكهربائي

المفاهيم الرئيسة

- يؤدي وجود مصدر خارجي للتيار في خلية التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي.
- ينتج عن التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم فلز الصوديوم وغاز الكلور، في حين ينتج عن التحليل الكهربائي لماء البحر غاز الكلور والهيدروجين وهيدروكسيد الصوديوم.
- تُنقّى الفلزات ومنها النحاس بواسطة خلايا التحليل الكهربائي.
- يستعمل التحليل الكهربائي في طلاء الأجسام والأشياء وإنتاج الألومنيوم النقي من خامه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

4-1

إتقان المفاهيم

30. ما الخواص التي تسمح باستعمال تفاعلات الأكسدة والاختزال في توليد تيار كهربائي؟

31. صف العملية التي تنتج الإلكترونات في الخلية الجلفانية خارصين – نحاس.

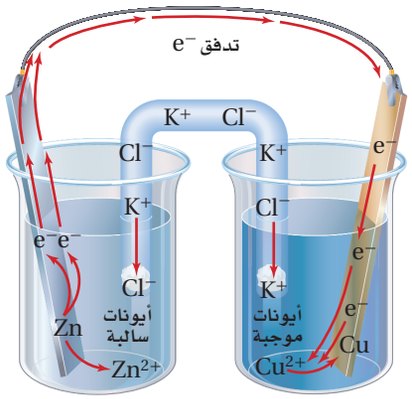
32. ما وظيفة القنطرة الملحية في الخلية الجلفانية؟

33. ما المعلومات اللازمة لتحديد الجهد القياسي للخلية الجلفانية؟

34. في الخلية الجلفانية الممثلة بالرموز الآتية:

$Cu|Cu^{2+}_{(1M)}||Al^{3+}_{(1M)}|Al$، ما الذي يتأكسد، وما الذي يختزل عندما يمر التيار في الخلية؟

35. عند أي ظروف يتم قياس جهد الاختزال القياسي؟



الشكل 24–4

36. حدّد كلًّا من الفلز الذي تأكسد والكاثود في **الشكل 24–4**.

37. تملأ القنطرة الملحية بـ KNO_3. فسّر لماذا يُعد من الضروري أن تتحرك أيونات البوتاسيوم عبر القنطرة الملحية إلى الكاثود؟

38. تذكّر أن العامل المختزل هو المادة التي تتأكسد، وأن العامل المؤكسد هو المادة التي تُختزل. استعمل **الجدول 1–4** لاختيار العامل المؤكسد الذي سيحوّل Au إلى Au^{3+} ولا يحول Co^{2+} إلى Co^{3+}.

إتقان حل المسائل

39. استعمل الجدول 1–4 في كتابة رمز الخلية القياسية لكل نصف خلية مما يأتي وموصلة بقطب الهيدروجين القياسي.

a. $Zn|Zn^{2+}_{(1M)}$ **c.** $Cu|Cu^{2+}_{(1M)}$

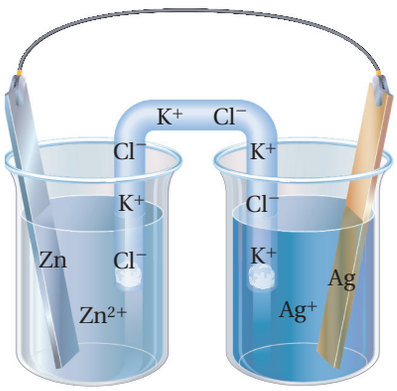
b. $Hg|Hg^{2+}_{(1M)}$ **d.** $Al|Al^{3+}_{(1M)}$

40. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل ترميز يمثل الخلايا القياسية الآتية:

a. $I^- \mid I_{2(1M)} \,||\, Fe^{3+}_{(1M)} \mid Fe^{2+}$

b. $Sn \mid Sn^{2+}_{(1M)} \,||\, Ag^{+}_{(1M)} \mid Ag$

c. $Zn \mid Zn^{2+}_{(1M)} \,||\, Cd^{2+}_{(1M)} \mid Cd$



الشكل 25–4

41. يوضح **الشكل 25–4** خلية جلفانية تتكون من قطعة خارصين في 1.0 M من محلول نترات الخارصين، وقطعة فضة في 1.0 M من محلول نترات الفضة. استعمل الشكل والجدول 1–4 في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. حدّد الأنود.

b. حدّد الكاثود.

c. أين تحدث الأكسدة؟

d. أين يحدث الاختزال؟

e. ما اتجاه مرور التيار خلال أسلاك التوصيل؟

f. ما اتجاه مرور الأيونات الموجبة خلال القنطرة الملحية؟

g. ما جهد الخلية عند 25°C و 1 atm؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 4

42. بالرجوع إلى الجدول 1–4، احسب جهد الخلية لكل من الخلايا الجلفانية الآتية:

a. $2Ag^{+}_{(aq)} + Pb_{(s)} \rightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + 2Ag_{(s)}$

b. $Mn_{(s)} + Ni^{2+}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}$

c. $I_{2(aq)} + Sn_{(s)} \rightarrow 2I^{-}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)}$

4-2

إتقان المفاهيم

43. أي جزء في خلية الخارصين والكربون الجافة يمثل الأنود؟ وما التفاعل الذي يحدث عنده؟

44. كيف تختلف البطاريات الأولية عن الثانوية؟

45. بطارية الرصاص الحمضية ما المادة التي تختزل في بطاريات تخزين المراكم الرصاصية؟ وما المادة التي تتأكسد؟ وما المواد التي تنتج في كل تفاعل؟

46. خلية الوقود الحيوي يختزل Fe^{3+} عند كاثود خلية الوقود الحيوي في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد III ($K_3[Fe(CN)_6]$) إلى Fe^{2+} في بوتاسيوم سداسي سيانيد الحديد II ($K_4[Fe(CN)_6]$). ويختزل عند الأنود نيكوتين أميد – أدنين – ثنائي النيوكليوتيد (NADH) الذي يتأكسد إلى NAD^{+}. استعمل جهود الاختزال القياسية الآتية لتحديد جهد الخلية:

$NAD^{+} + H^{+} + 2e^{-} \rightarrow NADH \quad E^{0} = -0.320\ V$

$[Fe(CN)_6]^{3-} + 1e^{-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} \quad E^{0} = +0.36\ V$

47. خلايا الوقود اذكر طريقتين تختلف فيهما خلية الوقود عن البطارية العادية.

48. الجلفنة ما الجلفنة؟ وكيف تحمي الجلفنة الحديد من التآكل؟

49. البطاريات فسّر لماذا لا تنتج بطاريات المراكم الرصاصية التيار عند انخفاض تركيز H_2SO_4؟

50. الصوف حزمة من الشعيرات الفولاذية المصنوعة من الفولاذ، وهي سبيكة من الحديد والكربون. ما أفضل طريقة لتخزين سلك المواعين المستعمل في غسل الأواني؟

a. تخزينه في الماء.

b. تخزينه في الهواء الطلق.

c. تخزينه في وعاء التجفيف.

51. الحماية من التآكل اذكر ثلاث طرائق لحماية الفلز من التآكل؟

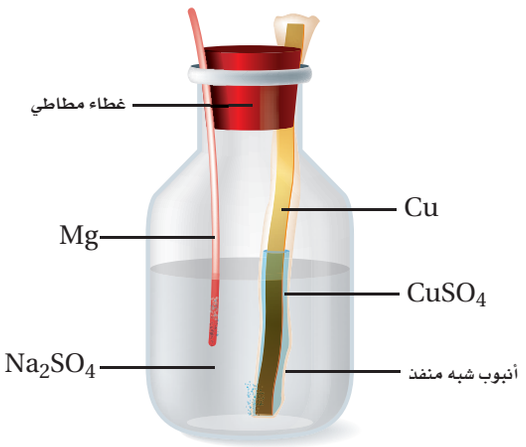
إتقان حل المسائل

52. فيما يأتي أنصاف تفاعل بطاريات تخزين المراكم الرصاصية:

$PbO_{2(s)} + SO_4{}^{5-}_{(aq)} + 4H_3O^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 6H_2O_{(l)} \quad E^{0} = +1.685V$

$PbSO_{4(s)} + 2e^{-} \rightarrow Pb_{(s)} + SO_4{}^{5-}_{(aq)} \quad E^{o} = -0.356V$

ما جهد الخلية القياسي لخلية واحدة في بطارية السيارة؟



الشكل 26–4

53. التركيب في **الشكل 26–4** يعمل عمل بطارية.

a. حدّد التفاعل الذي يحدث عند قطعة النحاس.

b. حدّد التفاعل الذي يحدث عند سلك الماغنسيوم.

c. حدّد الأنود.

d. حدّد الكاثود.

e. احسب جهد الخلية القياسي لهذه البطارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 4

54. إذا قمت بتصميم بطارية تستعمل نصف خلية تتكون من Sn و Sn^{2+}، ونصف خلية أخرى تتكون من Cu و Cu^{2+}، مع العلم أن قطب النحاس هو الكاثود وقطب القصدير هو الأنود. فارسم البطارية، ثم اكتب أنصاف التفاعل التي تحدث في كل نصف خلية. ما أكبر جهد يمكن أن تنتجه هذه الخلية؟

4-3

إتقان المفاهيم

55. كيف يمكن عكس تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي لخلية جلفانية؟

56. أين يحدث تفاعل الأكسدة في خلية التحليل الكهربائي؟

57. خلية داون ما التفاعل الذي يحدث عند الكاثود في أثناء التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم؟

58. صناعة فسّر لماذا يستعمل التحليل الكهربائي لماء البحر في جميع أرجاء العالم بكميات كبيرة؟

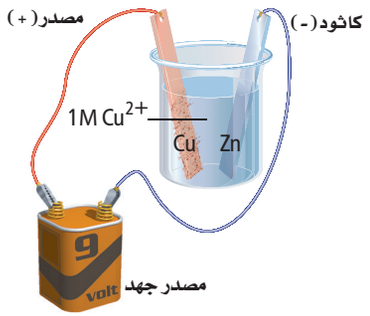
59. إعادة تدوير فسّر كيف تحفظ عملية إعادة تدوير الألومنيوم الطاقة؟

60. صف ماذا يحدث عند الأنود والكاثود في التحليل الكهربائي لمحلول KI؟



الشكل 4–27

61. الطلاء بالكهرباء يوضح **الشكل 4–27** مفتاحًا يُطلى كهربائيًّا بالنحاس في خلية تحليل كهربائي. فأين تحدث الأكسدة؟ فسر إجابتك.



الشكل 4–28

62. اعتمادًا على **الشكل 4–28**، أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أي الأقطاب يزداد حجمه؟ اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.

b. أي الأقطاب يقل حجمه؟ اكتب معادلة التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.

63. مستعينًا **بالشكل 4–28**، فسّر ماذا يحدث لأيونات النحاس في المحلول؟

مراجعة عامة

64. لماذا تتدفق الإلكترونات من قطب إلى آخر في الخلية الجلفانية؟

65. إنتاج الألومنيوم ما المادة التي يتم تحليلها كهربائيًّا في العملية الصناعية لإنتاج فلز الألومنيوم؟

66. اكتب أنصاف تفاعل الأكسدة والاختزال للخلية الجلفانية فضة–كروم، وحدّد الأنود والكاثود واتجاه تدفق الإلكترونات.

67. حدّد ما إذا كانت تفاعلات الأكسدة والاختزال الآتية تلقائية أو غير تلقائية:

a. $Mn^{2+}_{(aq)} + 2Br^{-}_{(aq)} \rightarrow Br_{2\ (l)} + Mn_{(s)}$

b. $2Fe^{2+}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)} \rightarrow 2Fe^{3+}_{(aq)} + Sn_{(s)}$

c. $Ni^{2+}_{(aq)} + Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}$

d. $Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cu^{+}_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + 2Cu^{2+}_{(aq)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

4 تقويم الفصل

68. حدّد جهد الخلية المتكونة من كل نصف خلية مما يأتي مرتبطة مع نصف خلية $Ag|Ag^+$:

a. $Be^{2+}{}_{(1M)} \mid Be$ **c.** $Au^+{}_{(1M)} \mid Au$

b. $S \mid S^{5-}{}_{(1M)}$ **d.** $I_2 \mid I^-{}_{(1M)}$

69. التآكل فسّر لماذا يعد وجود الماء ضروريًّا لحدوث تآكل الحديد؟

70. السفر عبر الفضاء تستخدم السفن الفضائية خلايا الوقود H_2/O_2 في إنتاج الكهرباء.

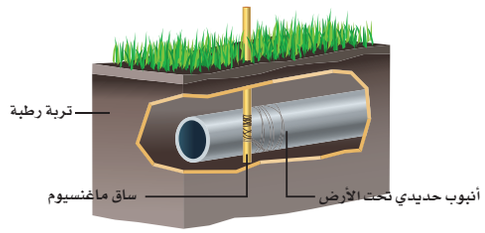
a. ما التفاعل الذي يحدث عند الأنود والكاثود؟

b. ما جهد الخلية القياسي لخلية الوقود؟

71. خلايا الوقود فسّر الاختلاف بين تأكسد الهيدروجين في خلية الوقود وتأكسده عند احتراقه في الهواء.

72. تنقية النحاس عند تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي، ما العوامل التي تحدد أي قطعة نحاس هي الأنود، وأيها الكاثود؟

73. بطاريات التخزين تسمى المراكم الرصاصية وغيرها من البطاريات التي يمكن إعادة شحنها أحيانًا بطارياتِ التخزينِ، فما الذي يخزن في هذه البطاريات؟



الشكل 29–4

74. منع التآكل يوضح **الشكل 29–4** كيف يتم حماية أنابيب الحديد المدفونة من التآكل؛ إذ توصل هذه الأنابيب بفلز أكثر نشاطًا يتآكل بدلاً من الحديد.

a. حدّد الكاثود والأنود.

b. فسّر كيف يعمل الماغنسيوم على حماية الأنابيب.

التفكير الناقد

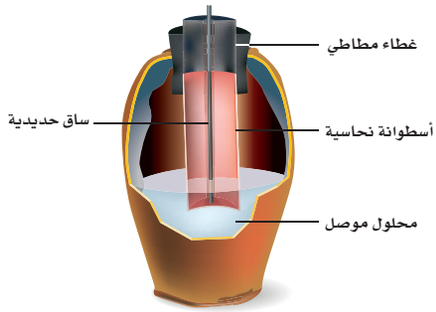
75. التوقع افترض أن العلماء قد اختاروا نصف خلية $Cu^{2+}{}_{(1M)}|Cu$ على أنها خلية قياسية بدلاً من نصف الخلية $H^+{}_{(1M)}|H_2$، فما مقدار جهد قطب الهيدروجين إذا كان قطب النحاس هو القطب القياسي؟ وكيف يمكن أن تتغير العلاقات بين جهود الاختزال القياسية؟

76. طبق افترض أن لديك خلية جلفانية يتكون أحد أنصافها من قطعة من القصدير مغموسة في محلول من أيونات القصدير II.

a. كيف تعرف من قياس جهد الخلية إذا كانت شريحة القصدير تمثل الكاثود أو الأنود؟

b. كيف تعرف عن طريق الملاحظة البسيطة ما إذا كانت شريحة القصدير تمثل الكاثود أو الأنود؟

77. ضع فرضية لما كان جهد نصف الخلية يتغير بتغير تركيز المتفاعلات والنواتج فإن الجهود القياسية تقاس عند تركيز 1M. كما أن الحفاظ على ضغط 1atm له أهمية خاصة في أنصاف الخلايا التي تحتوي على غازات بوصفها متفاعلات أو نواتج. فلماذا يعد ضغط الغاز نقطة حرجة في هذه الخلايا؟



الشكل 30–4

78. حلّل تم اكتشاف وعاء فخاري سنة 1938م بالقرب من بغداد. وكان هذا الوعاء القديم يحتوي على قضيب من الحديد محاط بأسطوانة من النحاس، كما في **الشكل 30–4**. وعند ملء هذا الوعاء بمحلول موصل كالخل فإنه قد يعمل عمل بطارية.

a. حدّد الكاثود.

b. حدّد الأنود.

c. احسب جهد الخلية القياسي لهذه البطارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

تقويم الفصل 4

79. طبق تنتج خلية تحليل كهربائي أبخرة البروم وغاز الهيدروجين خلال عملية تحليل كهربائي. وقد تبين بعد انتهاء التحليل الكهربائي أن الخلية تحتوي على محلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم. ما محتويات الخلية قبل عملية التحليل الكهربائي؟

80. ضع فرضية افترض أنه في إحدى عمليات الجلفنة تم طلاء الحديد بالنحاس بدلاً من الخارصين، فهل يمكن للنحاس أن يحمي الحديد من التآكل مثل الخارصين، حتى لو تصدعت طبقة النحاس؟ فسر إجابتك.

مسألة تحفيز

81. تم تركيب بطارية باستعمال القصدير والزئبق، وكانت أنصاف تفاعلات الاختزال فيها على النحو الآتي:

$$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Sn_{(s)}$$

$$Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Hg_{(s)}$$

a. اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية.

b. ما الذي تأكسد؟ وما الذي اختزل؟ حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل.

c. ما التفاعل الذي يحدث عند كل من الأنود والكاثود؟

d. ما جهد الخلية؟ استخدم **الجدول 1–4**.

e. إذا كانت القنطرة الملحية تحتوي على محلول كبريتات الصوديوم، ففي أي اتجاه تتحرك أيونات الكبريتات؟

مراجعة تراكمية

82. فسّر، لماذا تجد الكرسي المصنوع من الألومنيوم أكثر سخونة من الكرسي المصنوع من الخشب عند وضع الكرسيين تحت أشعة الشمس الفترة الزمنية نفسها.

83. علامَ تدل الإشارة السالبة للطاقة الحرة للتفاعل؟

$$\Delta G_{system} = \Delta H_{system} - \Delta T_{Ssystem}$$

84. اعتمادًا على نموذج التصادم للتفاعلات الكيميائية، فسّر كيف يمكن لجزيئين أن يتصادما ولا يتفاعلا؟

85. عدّد خمسة عوامل تؤثر في سرعة التفاعل.

86. يصل تفاعل التفكك $A_2B \rightarrow 2A + B$ إلى الاتزان عند 499^oC، ويوضح تحليل خليط الاتزان أن $[A_2B] = 0.855\ mol/L$ و $[A] = 2.045\ mol/L$ و $[B] = 1.026\ mol/L$. فما قيمة K_{eq} ؟

87. ما ذائبية يوديد الفضة AgI بوحدة mol/L إذا علمت أن قيمة K_{sp} لـ يوديد الفضة تساوي 3.5×10^{-15} ؟

88. إذا كان لديك محلول من حمض قوي، فهل يعني ذلك أن لديك محلولاً مركزًا من ذلك الحمض؟ فسر إجابتك.

89. ما أعداد التأكسد لكل عنصر في الأيون PO_4^{3-}؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

4 تقويم الفصل

تقويم إضافي

90. **الكتابة في الكيمياء** **السفن الغارقة** كشفت دراسة سفينة التيتانك الغارقة في المحيط مجالاً لاحتمال أن سبب تلف الهيكل الحديدي يعود جزئيًّا إلى وجود بيئات ملائمة للصدأ. ابحث كيف يؤدي هذا النشاط الحيوي إلى تأكسد الحديد، واكتب مقالاً تصف فيه دور المجتمعات الملائمة للصدأ في تدمير التيتانك.

91. **العملات المعدنية الأثرية:** تتعرض العملات المعدنية الأثرية لعمليات الصدأ الذي ينتج عن تفاعل المعدن مع الأكسجين في وجود الرطوبة وعوامل مساعدة أخرى.

ابحث عن المواد التي صيغت منها العملات المعدنية، ولماذا تآكلت بصورة سيئة جدًّا؟ اكتب تقريرًا تفسّر فيه العمليات الكيميائية التي حدثت وجعلت العملات المعدنية الأثرية تبدو في هذه الصورة.

أسئلة المستندات

التفاعلات البيولوجية الكهروكيميائية: يتضمن **الجدول 2-4** قائمة بجهود الاختزال القياسية لبعض التفاعلات الحيوية المهمة، ويعد الأكسجين أقوى العوامل المؤكسدة الموجودة في الأنظمة الحيوية. تأمل تأكسد مادة نيكوتين أميد – أدنين – ثنائي النيوكليوتيد (NADH) المختزلة بواسطة جزيء أكسجين، والذي يمكن تمثيله على النحو الآتي:

$$2NADH + 2H^+_{(aq)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NAD^+ + 2H_2O_{(l)}$$

الجدول 2-4

القطب	E°
$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow H_{2(g)}$	−0.4141
$NAD^+ + H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow NADH$	−0.320
$HOOCCOCH_3^* + 2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightarrow HOOCCHOHCH_3^{**}$	+0.19
$Fe^{3+}_{(aq)} + e^- \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)}$	+0.769
$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$	+0.8147

* $HOOCCOCH_3$ (حمض البيروفييك)

** $HOOCCHOHCH_3$ (حمض اللاكتيك)

92. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان في هذا التفاعل.

93. احسب جهد الخلية لهذا التفاعل باستعمال **الجدولين 1-4 و 2-4**.

94. هل يستطيع NAD^+ أكسدة Fe^{2+} إلى Fe^{3+}؟ فسّر إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 1 إلى 4.

جهود الاختزال القياسية لبعض أنصاف الخلايا عند 25°C و1M	
الاسم	E^0 (V)
$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	−2.372
$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	−1.662
$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	−0.1262
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.7996
$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$	0.851

1. أي الأيونات الآتية أسهل اختزالاً؟

a. Mg^{2+} **b.** Hg^{2+}

c. Ag^+ **d.** Al^{3+}

2. اعتمادًا على جهود الاختزال القياسية الموضحة في الجدول، أي رمز للخلية يمثل خليته الجلفانية بصورة صحيحة؟

a. $Ag|Ag^+ \,||\, Al^{3+}|Al$

b. $Mg|Mg^{2+} \,||\, H^+|H_2$

c. $H_2|H^+ \,||\, Pb^{2+}|Pb$

d. $Pb|Pb^{2+} \,||\, Al^{3+}|Al$

3. خلية جلفانية تتكون من قضيب من الماغنسيوم مغموس في محلول أيونات Mg^{2+} تركيزه 1M، وقضيب من الفضة مغموس في محلول أيونات Ag^+ تركيزه 1M. ما الجهد القياسي لهذه الخلية؟

a. 1.572 v **b.** 3.172 v

c. 0.773 v **d.** 3.971 v

4. لو افترضنا توافر الشروط القياسية، فأي الخلايا الآتية تعطي جهدًا مقداره 2.513 V؟

a. $Al|Al^{3+} \,||\, Hg^{2+}|Hg$

b. $Hg^{2+}|Hg \,||\, H_2|H^+$

c. $Mg|Mg^{2+} \,||\, Al^{3+}|Al$

d. $Pb|Pb^{2+} \,||\, Ag|Ag^+$

5. أي العبارات الآتية غير صحيحة؟

a. البطاريات نماذج مضغوطة من الخلايا الجلفانية.

b. البطاريات الثانوية من بطاريات التخزين.

c. يمكن أن تتكون البطاريات من خلية واحدة.

d. تفاعل الأكسدة والاختزال في البطاريات التي يمكن إعادة شحنها تفاعل معكوس.

6. ما الذي تتوقع حدوثه إذا غمرت شريحة من الفضة في محلول مائي يحتوي أيونات Cu^{2+}؟

a. عدم حدوث تفاعل

b. تأكسد الفضة

c. يترسب النحاس على شريحة الفضة

d. اختزال أيونات النحاس

7. ما المادة التي تتكون على المهبط عند التحليل الكهربائي لمحلول مائي من NaCl؟

a. اليود

b. الأكسجين

c. الهيدروجين

d. البوتاسيوم

8. ما الذي يحدث عند وضع قطعة من الخارصين Zn في محلول $1.0\ M\ Cu(NO_3)_2$؟

a. يقل $[Cu^{2+}]$

b. يقل $[Zn^{2+}]$

c. يزداد $[NO_3^-]$

d. لا يحدث تغير

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة من 9 إلى 11.



9. حدد القطب الموجب والقطب السالب في هذا الجهاز.

10. اكتب نصف تفاعل الأكسدة.

11. اشرح وظيفة القنطرة الملحية في هذا الجهاز.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الجدول الآتي في الإجابة عن السؤال 12.

جهود اختزال قياسية مختارة عند $25^\circ C$ و $1 atm$ وتركيز $1 M$	
$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	0.7996
$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	−0.744

12. إذا وصّل قطب فضة بقطب كروم في خلية جلفانية فأي القطبين سيتأكسد، وأيهما سيختزل؛ اعتمادًا على جهود الاختزال القياسية أعلاه؟ فسر إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

(أ)

الاختزال Reduction اكتساب ذرات المادة للإلكترونات.

الارتفاع في درجة الغليان Booling Point Elevation هو الفرق بين درجة حرارة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي، وتتناسب تناسبًا طرديًا مع مولالية المحلول.

الأزواج المترافقة Conjugate Pairs مادتان ترتبطان معًا عن طريق منح واستقبال أيون الهيدروجين.

الأكسدة Oxidation فقدان ذرات المادة للإلكترونات.

الانخفاض في درجة التجمد Freezing-Point Depression هوالفرق بين درجة تجمد المذيب النقي ودرجة تجمد المحلول.

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل في وعاء مغلق والتي تتطاير من سطح السائل متحولة الى الحالة الغازية.

الأنود Anode القطب الذي يحدث عنده تفاعل الأكسدة في الخلية الجلفانية.

الأيون المشترك Common Ion أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

(ب)

البطارية Battery عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي.

البطارية الأولية Primary Battery خلية الخارصين والكربون، أو القلوية، أو الفضة التي تنتج طاقة كهربائية من تفاعل التأكسد والاختزال الذي لا يحدث بشكل عكسي بسهولة، وتصبح البطارية غير صالحة للاستعمال بعد انتهاء التفاعل.

البطارية الثانوية Secondary Battery بطارية تعتمد على تفاعل الأكسدة والاختزال العكسي، لذلك يمكن إعادة شحنها، ومن ذلك بطارية السيارة والحاسوب المحمول.

(ت)

التآكل Corrosion خسارة الفلز الناتج عن تفاعل الأكسدة واختزال بين الفلز والمواد التي في البيئة؛ مثل تآكل الحديد المعروف بالصدأ.

تأثير تندال Tendall Effect قدرة جسيمات المخاليط الفردية على تثبيت الضوء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

التحليل الكهربائي Electrolysis استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي.

التركيز Concentration قياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب.

تفاعل الأكسدة والاختزال Redox Reaction تفاعل يتضمن انتقال الإلكترونات من إحدى الذرات إلى ذرة أخرى خلال التفاعل الكيميائي.

تفاعل التعادل Neutralization Reaction تفاعل حمض وقاعدة لإنتاج ملح وماء.

التميه Hydrate مركب متبلور يحتوي على عدد محدد من جزيئات ماء التبلور.

تميه الملح Salt Hydrolysis عملية اكتساب الشق السالب من الملح أيونات الهيدروجين، واكتساب الشق الموجب أيونات الهيدروكسيد من الماء عند إذابة الملح في الماء.

(ث)

ثابت تأين الحمض Acid Ionization Constant قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين الحمض.

ثابت تأين القاعدة Base Ionization Constant قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة.

ثابت تأين الماء Water Ionization Constant تعبير ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء ويساوي حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المخففة.

(ج)

الجلفنة Galvanization عملية كيميائية يغلف فيها الفلز بفلز أكثر مقاومة للتأكسد. فيغلف الحديد مثلاً بطبقة من الخارصين؛ إما عن طريق غمس القطعة الحديدية في مصهور الخارصين، أو بطلاء الحديد بالخارصين كهربائيًا.

جهد الاختزال Reduction Potential مدى قابلية المادة لاكتساب الإلكترونات.

(ح)

حرارة الذوبان Melting heat التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول.

حرارة المحلول Heat of Solution التغير الكلي في الطاقة في أثناء عملية تكوّن المحلول.

الحركة البراونية Brownin Motion الحركة العشوائية لجسيمات المذاب في المخاليط الغروية السائلة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الحمض الضعيف Weak Acid حمض يتأين جزئيًّا في الماء.

الحمض القوي Strong Acid الحمض الذي يتأين بشكل تام في الماء.

الحمض المرافق Conjugate Acid المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين من حمض.

(خ)

الخاصية الأسموزية Osmotic Property انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ من المحلول الأقل تركيزًا إلى المحلول الأكثر تركيزًا.

الخاصية الجامعة Colligative Property خاصية المحلول التي تعتمد على نوع جزيئات المذاب وليس عددها.

خلية التحليل الكهربائي Electrolytic Cell خلية كهروكيميائية يحدث فيها تحليل كهربائي.

الخلية الجافة Dry Cell خلية جلفانية، يكون فيها المحلول الموصل للتيار عجينة رطبة تتكون من خليط من كلوريد الخارصين وأكسيد المنجنيزIV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء داخل حافظة من الخارصين.

الخلية الجلفانية Voltaic Cell نوع من الخلايا الكهروكيميائية التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة تفاعل التأكسد والاختزال التلقائي.

الخلية الكهروكيميائية Electrochemical Cell جهاز يستعمل تفاعل الأكسدة والاختزال لإنتاج طاقة كهربائية، أو يستعمل الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي.

خلية الوقود Fuel Cell خلية جلفانية، تنتج فيها الطاقة الكهربائية من أكسدة الوقود الذي يتم التزود به باستمرار من مصدر خارجي.

(ذ)

الذوبان Solvation عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب.

(ر)

الرقم الهيدروجيني pH القيمة السالبة للوغارتيم تركيز أيون الهيدروجين في المحلول.

الرقم الهيدروكسيدي pOH القيمة السالبة للوغارتيم تركيز أيون الهيدروكسيد في المحلول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

(س)

سعة المحلول المنظم Buffered solution capacity كمية الحمض أو القاعدة التي يستطيع المحلول أن يستوعبها دون تغير مهم في pH.

(ض)

الضغط الأسموزي Osmotic Pressure كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركز.

(ط)

طريقة عدد التأكسد Oxidation-Number Method طريقة في موازنة معادلات الأكسدة والاختزال تعتمد على وجوب أن يكون مجموع الزيادة في عدد التأكسد مساويًا مجموع الانخفاض في عدد التأكسد للذرات المشتركة في تفاعل التأكسد والاختزال.

(ع)

العامل المؤكسد Oxidizing Agent مادة تقوم بأكسدة مادة أخرى من خلال اكتساب ذراتها للإلكترونات.

العامل المختزل Reducing Agent مادة تقوم باختزال مادة أخرى من خلال فقدان ذراتها للإلكترونات.

(ق)

القاعدة الضعيفة Weak Base قاعدة تتأين جزئيًّا في الماء.

القاعدة القوية Strong Base القاعدة التي تتأين بشكل تام في الماء.

القاعدة المرافقة Conjugate Base المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين.

قانون هنري Henry's law تتناسب ذائبية الغاز في سائل تناسبًا طرديًا مع ضغط الغاز الموجود فوق السائل عند ثبوت درجة الحرارة.

قطب الهيدروجين القياسي Standard Hydrogen Electrode شريحة صغيرة من البلاتين مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي يحتوي على أيونات هيدروجين بتركيز 1M. ويتم ضخ غاز الهيدروجين H_2 في المحلول عند ضغط 1atm ودرجة حرارة 25 °C، ويكون فرق الجهد لقطب الهيدروجين القياسي، المسمى جهد الاختزال القياسي (E^0)، مساويًا 0.000 V.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

القنطرة الملحية Salt Bridge ممر لتدفق الأيونات من جهة إلى أخرى في الخلية الجلفانية. وتتكون من أنبوب يحتوي على محلول موصل للتيار الكهربائي لملح ذائب في الماء مثل KCl، يحفظ داخل الأنبوب بواسطة جل هلامي أو أي غطاء يسمح للأيونات بالحركة من خلاله، على ألا يختلط المحلولان في الخلية.

(ك)

الكاثود Cathode قطب يحدث عنده تفاعل الاختزال في الخلية الجلفانية.

كاشف الحمض والقاعدة Acid-bace indicator أصباغ كيميائية تتأثر ألوانها بالمحاليل الحمضية والقاعدية.

الكسر المولي Mole Fraction نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذاب والمذيب.

(م)

المادة الذائبة Soluble المادة التي تذوب في مادة أخرى (المذيب).

المادة غير الذائبة Insoluble المادة التي لا تذوب في مادة أخرى (المذيب).

المادة المترددة Amphoteric المادة التي تسلك سلوك الأحماض والقواعد.

المحلول الحمضي Acidic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات هيدروجين أكثر من الهيدروكسيد.

المحلول غير المشبع Unsaturated Solution محلول يحتوي كمية من المذاب أقل مما يحتويه المحلول المشبع عند نفس الضغط ودرجة الحرارة.

المحلول فوق المشبع Ultra saturated solution محلول يحتوي على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها.

المحلول القاعدي Basic Solution المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات الهيدروكسيد أكثر من الهيدروجين.

المحلول القياسي Titrant محلول معروف التركيز يستعمل لمعايرة محلول مجهول التركيز.

المحلول المشبع Saturated Solution محلول يحتوي أكبر مقدار من المذاب عند ضغط ودرجة حرارة معينين.

المحلول المنظم Buffered Solution محلول يقاوم التغير في pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد.

المخلوط الغروي Colloid مخلوط غير متجانس يتكون من جسيمات متوسطة الحجم تتراوح أقطارها بين 1nm و1000 nm.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

المخلوط المعلق Suspension مخلوط يحتوى على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق إذا ترك فترة دون تحريك.

المعايرة Titration تفاعل حمض وقاعدة لمعرفة تركيز أحدهما.

الملح Salt مركب أيوني أيونه الموجب من القاعدة، وأيونه السالب من الحمض.

المولارية Molarity عدد مولات المذاب في لتر واحد من المحلول.

المولالية Molality عدد مولات المذاب المذابة في كيلوجرام من المذيب.

(ن)

نقطة التكافؤ Equivalence Point هي النقطة التي تتساوى فيها عدد مولات الحمض مع عدد مولات القاعدة في المعادلة الكيميائية، مما يدل على اكتمال التفاعل الكيميائي.

نقطة النهاية End Point النقطة التي يغير عندها الكاشف لونه.

نظرية أرهينيوس Arrhenius Model يمنح حمض أرهينيوس أيونات الهيدروجين عند إذابتها في الماء؛ بينما تمنح قاعدته أيونات الهيدروكسيد.

نظرية برونستد - لوري Bronsted-Lowry Model يمنح حمض برونستد البروتونات، وتستقبل قاعدته البروتونات.

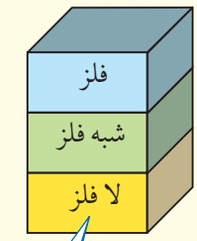
نظرية لويس Lewis Model يستقبل حمض لويس زوجًا من الإلكترونات في حين قاعدته تمنح زوجًا من الإلكترونات.

نصف التفاعل Half Reaction أحد جزأي تفاعل الأكسدة والاختزال؛ أي تفاعل التأكسد أو تفاعل الاختزال.

نصف الخلية Half Cell أحد نصفي الخلية الكهروكيميائية. ويحتوي كل نصف خلية على قطب ومحلول يشتمل على أيونات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًّا أو شبه فلز أو لافلزًّا.

10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn 285.177	Nihonium 113 Nh 286.183	Flerovium 114 Fl 289.191	Moscovium 115 Mc 290.196	Livermorium 116 Lv 293.205	Tennessine 117 Ts 294.211	Oganesson 118 Og 294.214

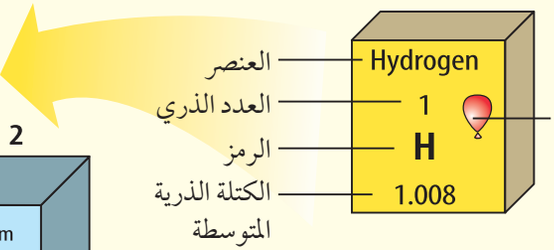
Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448

جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

غاز
سائل
صلب
مُصنّع



الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنّعة.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Hydrogen 1 H 1.008								
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012							
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305							
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.

صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

سلسلة اللانثانيدات	Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
سلسلة الأكتنيدات	Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1447



وزارة التعليم
Ministry of Education
2026 - 1448