الفصل 7

الفكرة العامة

تضمين البطاريات لعرض الفكرة العامة للفصل. اصطحب أنواعًا متعددة ومختلفة من البطاريات إلى الصف وقطعة فلز متآكلة؛ وأخبر الطلاب أنه تحدث تفاعلات أكسدة واختزال في هذه البطاريات جميعها. فإذا كان التفاعل تلقائيًّا عُدَّ النظام خلية جلفانية، أما إذا احتاج التفاعل إلى طاقة فيعد النظام خلية تحليل كهربائي.

الربط مع المعرفة السابقة

اطلب إلى الطلاب مراجعة المفاهيم الآتية قبل دراسة هذا الفصل:

أنواع التفاعلات، سلسلة النشاط للعناصر، الطاقة، طاقة الوضع الكيميائية، أنصاف تفاعلات الأكسدة والاختزال.

استعمال الصورة

البطاريات دع الطلاب يتأملوا الصورة في بداية الفصل، ثم اسأل: ماذا تعمل البطاريات؟ تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. تستعمل كاميرا الاستشعار المستخدمة في التقاط الصور نوعين من البطاريات، هما: بطاريات الليثيوم والبطارية القلوية. وتحتوي البطاريات على خلايا كهروكيميائية تولد تيارًا كهربائيًّا. وتتكون أقطاب بطارية الليثيوم الموجودة في الكاميرا من أكسيد الليثيوم والكوبلت $LiCoO_2$ والكربون. ويستعمل في كاميرا الاستشعار بطاريات قلوية تحتوي على أقطاب من الخارصين وأكسيد المنجنيز.

الفصل 7
الكيمياء الكهربائية
Electrochemistry
مجس كاميرا
بطارية ليثيوم
بطاريات قلوية حجم C
الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.
7-1 الخلايا الجلفانية
الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود (المصعد) منتجة إلكترونات تتدفق نحو الكاثود (المهبط) حيث يحدث الاختزال.
7-2 البطاريات
الفكرة الرئيسة البطاريات خلايا جلفانية تستعمل التفاعلات التلقائية لإنتاج الطاقة لأغراض متعددة.
7-3 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.
36

نشاطات تمهيدية

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، واتركْ 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 1–7 و3–7**، وذلك عند قراءتك للخلايا الكهروكيميائية. لخص المعلومات في بطاقات، واحفظها في القسم الخاص بها.

الكيمياء عبر المواقع الالكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع: www.obeikaneducation.com

37

تجربة استهلالية

الهدف يفحص الطلاب آلية عمل البطارية.

احتياطات السلامة تأكد من تعبئة الطلاب لبطاقة السلامة في المختبر قبل بدء العمل. استخدم قطع الليمون في أكثر من صف، ثم تخلص منها في نهاية اليوم. ونظف قطع النحاس والخارصين، وأعد استعمالها.

استراتيجيات التدريس

- اعرض المفهوم من خلال ربط البطارية بمقياس فرق جهد وتفسير القراءات.
- يمكن استعمال فلزات أخرى غير النحاس والخارصين، كالماغنسيوم والحديد مثلاً.

النتائج المتوقعة

تكون قراءة الفولتمتر باستعمال الخارصين والنحاس 1.1 V، أما عند إزالة أحد الفلزات من الليمونة فستصبح قراءة الفولتمتر 0 V، أو أي قيمة افتراضية للصفر على الفولتمتر.

التحليل

1. يعطي الفلزان جهدًا يقاس بالفولت.
2. تعمل الليمونة عمل محلول موصل للأيونات، وكذلك تسهل انتقال الإلكترونات من فلز إلى آخر.

الاستقصاء يمكن استعمال الأطعمة التي تحتوي على سائل حمضي، مثل الفاكهة الحمضية، في عمل البطاريات.

7–1

1. التركيز

شريحة التركيز

قبل بدء الدرس، اعرض على الطلاب شريحة التركيز رقم (21) الواردة في مصادر التعلم للفصول (9–6)، ويمكنك عرضها ملونة من خلال الرجوع إلى الموقع الإلكتروني: د م

www.obeikaneducation.com

الفكرة الرئيسة

تدفق الإلكترونات ذكّر الطلاب بالنشاط الاستهلالي لبطارية الليمونة، واسأل: ما اتجاه حركة الإلكترونات (يجب أن تكون القيمة موجبة)؟ يتدفق التيار من الخارصين إلى النحاس. اسأل الطلاب: ماذا يحدث لو وصل طرف الفولتمتر الأسود بالنحاس وطرفه الأحمر بالخارصين؟ سيعطي الفولتمتر قراءة سالبة، أو يظهر كأنه لا يعمل على النحو المطلوب. واسأل أيضًا: هل يمكن استعمال فاكهة أخرى بدلاً من الليمون؟ ربما يكون الطلاب قد سمعوا بساعة البطاطا. ض م

2. التدريس

تطوير المفهوم

الحصول على بطاريات اطلب إلى الطلاب كتابة قائمة بالأشياء التي تحتاج إلى نوع ما من البطاريات لتشغيلها ومنها أجهزة التحكم عن بعد. يجب أن يكون الطلاب قادرين على ذكر بعض الأشياء ومنها المذياع ومشغل الأقراص المضغوطة والآلات الحاسبة والألعاب وكاشفات الدخان والنار والساعات والهواتف الخلوية وكاميرات الفيديو والحاسوب والمصابيح اليدوية والسيارة وجزازة العشب. ثم اطلب إليهم أن يقترحوا أسبابًا لاستعمال أنواع معينة من البطاريات في بعض الأدوات المنزلية دون الأخرى. قد تتضمن بعض الإجابات المتوقعة حجم البطارية، ومدة صلاحيتها وتكلفتها وقدرتها على إنتاج كمية كافية من الطاقة لتشغيل الجهاز. ض م

مشروع الكيمياء

ساعة البطاطا احصل على ساعة من حبتي بطاطا (متوافرة في العديد من متاجر اللوازم العلمية)، وحدّد القطبين المختلفين: الخارصين والنحاس. ثم اطلب إلى الطلاب وضع مخطط للساعة وتحديد الأنود والكاثود للخلايا الكهروكيميائية. واطلب إليهم أيضًا تحديد جزء الساعة الذي يعمل عمل المحلول الموصل للأيونات.

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 1–7 و 2–7** 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–7** الذي غُمست فيه شريحة الخارصين في محلول كبريتات الخارصين، وغُمست فيه شريحة النحاس في محلول كبريتات النحاس II.

المفردات الجديدة

القنطرة الملحية

الخلية الكهروكيميائية

الخلية الجلفانية

نصف الخلية

الأنود

الكاثود

جهد الاختزال

قطب الهيدروجين القياسي

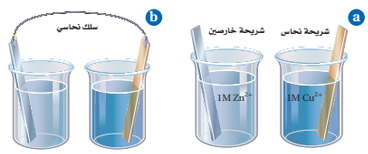
الأهداف

- 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.

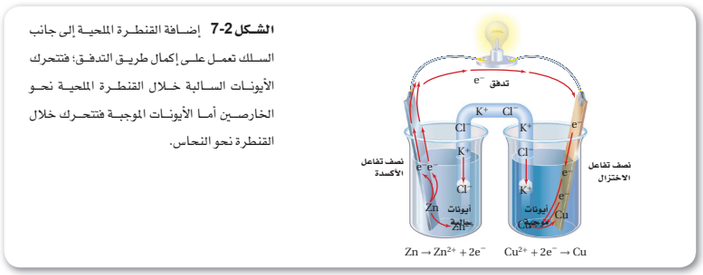
الاختزال اكتساب الذرات للإلكترونات؛ أو النقص في عدد التأكسد.



الشكل 1-7

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.



الشكل 2-7 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-7**؛ 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 2-7**. 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 المحلول ان 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 2-7** تتدفق الإلكترونات خلال السلك، وتتدفق الأيونات خلال القنطرة الملحية، فتكون ما يعرف بالتيار الكهربائي. وتستعمل طاقة تدفق الإلكترونات لإضاءة المصابيح.

الخلايا الكهروكيميائية يبين **الشكل 2-7** 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 3-7**.

الشكل 3-7 خلية نسخة طبق الأصل من أول خلية لأليساندرو فولتا تتكون من أقراص 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.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

يصعب على الطلاب في كثير من الأحيان فهم حاجة الدائرة الكهربائية إلى تدفق مستمر من الإلكترونات.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

وزع الطلاب في مجموعات صغيرة، وزوّد كل مجموعة ببطارية من حجم D ومصباح وسلك واحد معرّى الطرفين. وتحدهم أن يضيئوا مصابيحهم باستعمال أي عدد من طرائق التوصيل الممكنة، واطلب إلى كل مجموعة رسم مخطط التوصيلات التي استخدموها في إضاءة المصباح. وعزّز لدى كل مجموعة مفهوم الدائرة الكاملة التي تسمح للمصباح بأن يضيء. قد يضيء الطلاب المصابيح باستعمال بطارية واحدة، أو سلسلة من البطاريات والمصابيح لبناء دائرة كهربائية كاملة أكثر تفصيلاً.

عرض المفهوم

بعد أن تكون قد أوضحت كيف تضيء الدائرة الكهربائية المصباح، بيّن ما الذي يمكن حدوثه إذا قطعت مادة أو جسم ما الدائرة الكهربائية. دع كل مجموعة تستخدم الدائرة التي رسمتها في إضاءة المصباح، وتضع مواد متنوعة بين إحدى نهايات السلك وأسفل البطارية . ثم وضّح لهم أنه إذا كانت المادة التي تقطع الدائرة موصلة للكهرباء فسوف توصل الدائرة الكهرباء ويضيء المصباح. أما إذا كانت المادة غير موصلة للكهرباء فسوف تنقطع الدائرة ولن يضيء المصباح. قد تتضمن عينة المواد ورق الرسم، وقطعة نحاس، وقطعة قماش مغموسة بماء البحر أو أي مادة موصلة أو غير موصلة للكهرباء.

تقويم المعرفة الجديدة

اسأل الطلاب: كيف تتحرك الإلكترونات/ الدقائق المشحونة؟ وكيف تكون الدائرة الكهربائية كاملة في الخلايا الكهروكيميائية؟ ض م

ماذا قرأت؟ يحتوي الدورق الأيسر على الأنود، ويتكون الأنود من الخارصين لأنه ينتج إلكترونات.

الخلفية النظرية للمحتوى

القنطرة الملحية وضح للطلاب أن القنطرة الملحية قد تبدو بأشكال عدة، منها على سبيل المثال أنبوب على شكل حرف U مملوء بمحلول ملحي يربط بين دورقين منفصلين يحتويان على المحاليل، أو كوب مساميّ يحتوي على أحد المحاليل وُضع داخل كوب آخر يحتوي على المحلول الثاني، أو منشفة ورقية مغموسة في محلول موصل، مثل ملح وماء، وملفوفة حول وعاءين منفصلين بحيث توصل بين المحلولين.

التعزيز

المفردات وزع الطلاب في مجموعات صغيرة، واطلب إليهم اختبار بعضهم بعضًا باستعمال مصطلحات هذا القسم.

كيمياء الخلايا الجلفانية Chemistry of Voltaic Cells

تتكون الخلايا الكهروكيميائية من جزأين يطلق على كل منها **نصف الخلية**؛ حيث يحدث فيها 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 2–2** رأس 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 2–2** 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 4–7**، 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 4-7 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.

40

طرائق تدريس متنوعة

دون المستوى قم بإعداد وسيلة بصرية لمساعدة الطلاب على تعرف الأنود والكاثود واتجاه التيار الكهربائي في خلية كهروكيميائية، ووضع ملصقات عليها. ثم ارسم صورة لخلية، كأحد الأنظمة التي عُرضت في الكتاب، على لوحة ملصقات، ثم دع الطلاب يميزوا بين الأنود والكاثود ووضع الإلكترونات على الشكل لإكمال الدائرة، وتمييز اتجاه تدفق الإلكترونات باستعمال الأسهم. **د م**

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 5-7**، 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:

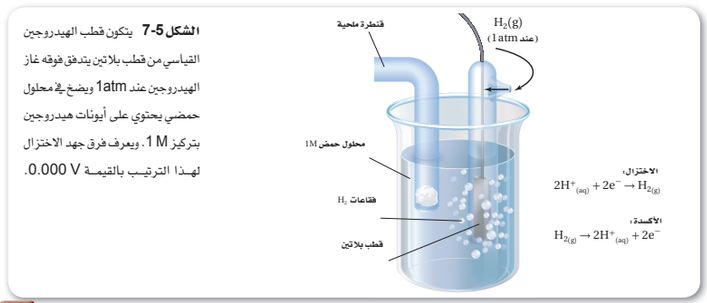
$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \underset{\text{الأكسدة}}{\overset{\text{الاختزال}}{\rightleftarrows}} H_{2(g)} \qquad E^\circ = 0.000\ V$$

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 5-7 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.

التوسع

الكيميائيون اطلب إلى الطلاب البحث عن أبرز الكيميائيين الذين تناولوا في أعمالهم الكيمياء الكهربائية، واطلب إليهم البحث في الفترة الزمنية التي عملوا بها، وإسهامات أحد العلماء، وكتابة تقرير حوله، ومشاركة جميع طلاب الصف. اقترح عليهم بعض الأسماء مثل: جلفاني، فولتا، داو، أديسون، أو فاراداي.

التعزيز

التفاعلات التلقائية وغير التلقائية اطلب إلى الطلاب تحديد أي التفاعلات الآتية تلقائي، وأيها غير تلقائي:

a. $Ni + Zn^{2+}$ غير تلقائي

b. $Fe + Cu^{2+}$ تلقائي

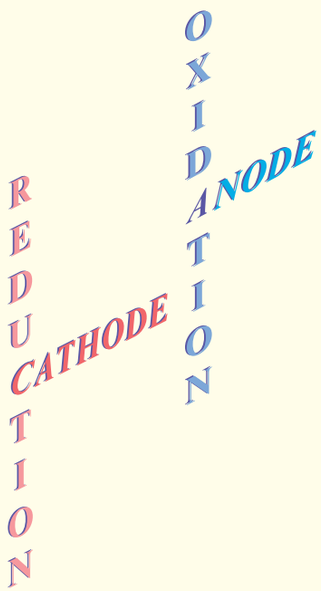
c. $Fe^{2+} + Cu^{2+}$ غير تلقائي ض م

المطويات

اطلب إلى الطلاب تضمين معلومات من هذا القسم في مطويتهم.

التعلم البصري

مساعدات الذاكرة عادة ما يرتبك الطلاب عندما يحاولون ربط تفاعلات الأكسدة والاختزال بالأقطاب الموجبة والسالبة في كل من الخلايا الجلفانية والتحليل الكهربائي؛ لذا ذكّرهم بأن الاختزال يحدث على الكاثود، أما الأكسدة فتحدث على الأنود، وذلك بتذكر الشكل المجاور.



التعلم البصري

الجدول 1-7 فسّر للطلاب كيفية استعمال جدول جهود الاختزال القياسية، أخبرهم بأنه يمكن تسمية هذا الجدول باسم السلسلة الكهروكيميائية. اطلب إليهم استخدام **الجدول 1-7** في تحديد المعلومات الآتية:

a. جهد الاختزال القياسي لنصف خلية ما. يمكن إيجاد قيم جهد الاختزال القياسي لتلك الخلية بقراءة القيم الموجودة في الجدول لتلك الخلية.

b. جهد الخلية الناتج عن خلية جلفانية. يحدد المواد المتأكسدة والمختزلة في الخلية. يستمر نصف التفاعل الذي قيمة جهده الموجبة أكبر في صورة تفاعل اختزال؛ لذا يكون جهد الخلية الجلفانية القياسي =

ض م $E^0_{reduction} - E^0_{oxidation}$

تطبيقات في الكيمياء

تنظيف قطعة فضة من سفينة غارقة تغطى القطع النقدية والقضبان الفضية المحفوظة في صناديق خشبية في المحيط لمدة زمنية طويلة بطبقة من كبريتيد الفضة بسبب البكتيريا التي تحول أيونات الكبريتات إلى غاز كبريتيد الهيدروجين. وعند وصل القطع النقدية بكاثود خلية تحليل كهربائي لها أنود غير نشط، وتحتوي على محلول موصل من هيدروكسيد الصوديوم تختزل الفضة في كبريتيد الفضة إلى حالتها الفلزية الأصلية، ويحدث على الكاثود التفاعلان الآتيان:

$$Ag_2S + 2e^- \rightarrow 2Ag + S^{2-}$$

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2H_2 + 2OH^-$$

ويكون تفاعل الأنود هو:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

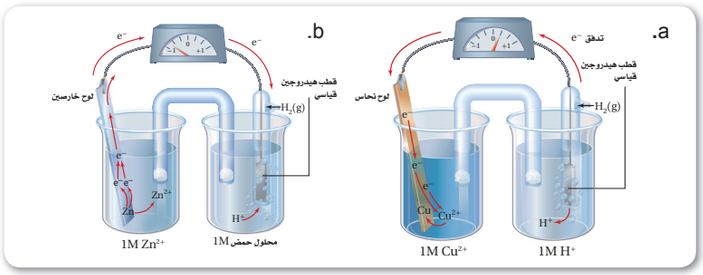
جهود نصف الخلية قام الكيميائيون عبر السنين بقياس جهود الاختزال القياسية وتسجيلها لعدد من أنصاف الخلايا. ويرتب **الجدول 1-7** بعض تفاعلات نصف الخلية الشائعة تصاعديًّا بحسب قيم جهود الاختزال. وقد تم الحصول على القيم في الجدول من خلال قياس الجهد عند توصيل كل نصف خلية بنصف خلية الهيدروجين القياسية. وقد كتبت التفاعلات في **الجدول 1-7** جميعها في صورة تفاعلات اختزال. ومع ذلك ففي أي خلية جلفانية تحتوي دائمًا على نصفي تفاعل سيحدث نصف التفاعل الذي له جهد اختزال أقل في اتجاه عكسي، ويصبح تفاعل أكسدة؛ أي أن نصف التفاعل الذي له جهد اختزال موجب أكبر يحدث في صورة اختزال، أما نصف التفاعل الذي له جهد اختزال سالب أكبر فيحدث في صورة أكسدة. ويجب أن يقاس جهد القطب تحت الظروف القياسية، وهي غمس القطب في محلول من أيوناته تركيزه 1 M عند 25°C و 1 atm. حيث يشير الصفر فوق الترميز E° باختصار إلى أن القياس تم تحت ظروف قياسية.

الجدول 1-7 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**

دفتر الكيمياء

مطلية ومحفوظة اطلب إلى الطلاب أن يصفوا كيفية طلاء زوج من أحذية الأطفال بالنحاس، ويدونوا ذلك في دفاترهم، مع إرفاق صور لهذا الوصف. توصل الأحذية بكاثود الخلية الكهروكيميائية والنحاس بالأنود. وعند اكتمال الخلية تبدأ أيونات النحاس في المحلول الموصل بطلاء سطح الأحذية بطبقة من النحاس.



الشكل 6-7

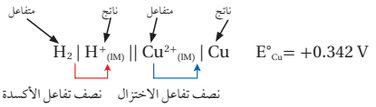
a. عند توصيل قطب $Cu^{2+}|Cu$ بقطب هيدروجين تتدفق الإلكترونات نحو لوح النحاس، فتختزل أيونات Cu^{2+} إلى ذرات Cu، وفرق الجهد لهذا التفاعل يساوي +0.342V.

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 -0.762V.

تحديد جهود اختزال الخلية الكهروكيميائية يمكنك استعمال الجدول 1-7 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-7**؛ 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":



تكتب الذرات/ الأيونات (التركيز) الداخلة في عملية الأكسدة أولاً وبالترتيب الذي تظهر به في نصف تفاعل الأكسدة، ويوضع بعدها 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.

طرائق تدريس متنوعة

دون المستوى اطلب إلى الطلاب رسم جدول يتكون من عمودين، أحدهما بعنوان "الأنود"، والآخر بعنوان "الكاثود"، واطلب إليهم وضع المصطلحات أو الأوصاف الآتية في العمود المناسب: الأكسدة، عامل مؤكسد، يفقد إلكترونات، يكتسب إلكترونات، اختزال، عامل مختزل. الأنود: التأكسد، عامل مختزل، يفقد إلكترونات. الكاثود: الاختزال، عامل مؤكسد، يكتسب إلكترونات. د م

التقويم

الأداء وزع الطلاب في مجموعات ثنائية أو ثلاثية، واطلب إليهم طلاء مسمار بالنحاس، ووافق على نماذج السلامة في المختبر قبل بدء العمل. وجهّز المواد الآتية: مسمار حديد، كبريتات نحاس، أسلاك نحاس، بطارية، مماسك، كؤوس. عندما تركب كل مجموعة جهاز الطلاء اطلب إلى المجموعات شرح التركيب الخاص بهم بصورة لفظية باستعمال المصطلحات المناسبة، ثم دعهم يكملوا المهمة. واطلب إليهم تسجيل ملاحظاتهم، وكتابة أنصاف التفاعل المناسبة، ثم تسليم المسمار المطلي بالنحاس مع التقرير المكتوب. ض م تعلم تعاوني

عرض سريع

الكشف عن حدوث تفاعل ضع في كأس تحتوي على 1.0 M من $CuSO_4$. شريحة من فلز الخارصين (نحو 10 cm في 5 cm)، اطلب إلى الطلاب مراقبة التفاعل. اطلب إليهم أن يراقبوا تفاعلاً آخر في كأس أخرى تحتوي على 1.0M من $ZnSO_4$، شريحة من النحاس (مستخدمًا الحجم نفسه)، ووضّح لهم أنه لا يوجد تفاعل ملحوظ. ثم اسأل: لماذا يتفاعل الخارصين مع أيونات النحاس في حين لا يتفاعل النحاس مع أيونات الخارصين؟ الخارصين فلز أكثر نشاطًا ويخسر الإلكترونات بسهولة أكبر من النحاس. لذا ضع قطب النحاس لاحقًا في محلول كبريتات النحاس، وقطب الخارصين في محلول كبريتات الخارصين، ثم اطلب إلى الطلاب أن يحددوا هل يحدث تفاعل أم لا؟ لا. واسأل: ما الذي نحتاج إليه لإكمال الدائرة للسماح للتفاعل بالحدوث؟ قد يقترح بعض الطلاب أن يُربط القطبان بأسلاك كهربائية وقنطرة ملحية تصل بين المحلولين. ض م

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلاب تحديد المادة المتفاعلة والمادة الناتجة في كل زوج من الأزواج الآتية:

a. $Zn|Zn^{2+} \;||\; Cu^{2+}|Cu$

b. $Zn|Zn^{2+} \;||\; Pb^{2+}|Pb$

c. $Pb|Pb^{2+} \;||\; Cu^{2+}|Cu$

d. $Cu|Cu^{2+} \;||\; Ag^{+}|Ag$

المتفاعلات:

a. Zn و Cu^{2+}

b. Zn و Pb^{2+}

c. Pb و Cu^{2+}

d. Cu و Ag^{+}

اختبار الرسم البياني الخارصين.

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلاب توقع نتائج العرض التوضيحي لخلية جيربر (انظر في الأسفل) باستعمال فلزات مختلفة، ومقارنة هذه الفلزات بالنحاس والماغنسيوم. ض م

عرض توضيحي

خلية جيربر

الهدف

توضيح أن الخلية الجلفانية تنتج تيارًا.

المواد والأدوات

دورق سعته 50 mL، أنبوب شبه نفاذ 15 cm، سدادة كبيرة، شريط ماغنيسيوم طوله 10 cm، سلك نحاس طوله 10 cm، 100 mL كبريتات نحاس تركيزها 5.0M، 100 mL كبريتات صوديوم تركيزها 5.0M، 10 mL حمض الهيدروكلوريك 6 M، 10 mL حمض النيتريك 6 M، فولتمتر، سلكا توصيل بأطراف لاقطة.

احتياطات السلامة

تحذير: الأحماض مواد حارقة للجلد.

التخلص من النفايات قم بمعادلة الأحماض بواسطة بيكربونات الصوديوم، ثم اسكبها في المغسلة، واغسلها بكميات كبيرة من الماء. وتخلص من المواد الكيميائية الأخرى والأسلاك الفلزية حسب الإجراءات المتبعة في ذلك.

خطوات العمل

نظّف القطع الفلزية جميعها، واملأ 2/3 الكأس بمحلول كبريتات الصوديوم. ثم رطّب الأنبوب شبه النفّاذ، واربطه من أحد طرفيه. واملأ الأنبوب بمحلول كبريتات النحاس على أن يكون مستوى

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 6b–7**؛ 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":

متفاعل — ناتج — متفاعل — ناتج

$$Zn \mid Zn^{2+}_{(1M)} \;||\; H^{+}_{(1M)} \mid H_2 \quad E^{\circ}_{Zn} = -0.762\ V$$

نصف تفاعل الأكسدة — نصف تفاعل الاختزال

أما الخطوة النهائية في حساب جهد الخلية الكهروكيميائية فتكون بجمع نصفي تفاعل النحاس والخارصين، على أنها 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.

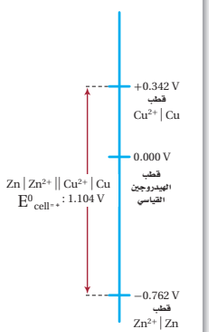
جهد الخلية القياسي يساوي الجهد القياسي لنصف خلية الاختزال مطروحًا منه الجهد القياسي لنصف خلية التأكسد.

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 **7–7** يوضح طريقة حساب الجهد الكلي لهذه الخلية.

الشكل 7-7 يوضح كيف يحسب جهد الخلية الكلي من فرق جهود الاختزال لقطبين.



اختبار الرسم البياني

أيهما يتأكسد أسهل من الهيدروجين: النحاس أم الخارصين؟

مثال 1-7

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 الجدول 1-7 . 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 **1-7**.

$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-_{(aq)}$ $\quad E^0_{I_2|I^-} = +0.536\ V$

$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $\quad E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.447\ V$

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.

مثال في الصف

سؤال تتكون خلية جلفانية من قنطرة ملحية وقطب من الفضة وآخر من الماغنسيوم. تمثل المعادلة الآتية التفاعل الذي يحدث في الخلية:

$2Ag^+ + Mg \rightarrow 2Ag + Mg^{2+}$. ارسم الخلية الجلفانية، وحدد الأنود والكاثود والقنطرة الملحية. وحدد كذلك التفاعل الذي يحدث عند كل من الكاثود والأنود، بالإضافة إلى جهد الخلية القياسي.

الإجابة يحدث تفاعل التأكسد عند الأنود، أما تفاعل الاختزال فيحدث عند الكاثود، وتكتسب الفضة الإلكترونات وتُختزل، في حين يتأكسد الماغنسيوم ويخسر الإلكترونات.

تفاعل الكاثود : $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$

جهد الخلية: $E^0_{cell} = E^0_{reduction} - E^0_{oxidation}$

$= 0.7996 - (-2.372) = 3.1716V$

المحلول في الأنبوب أعلى قليلاً من مستواه في الدورق. ثم ضع قطعة النحاس في الأنبوب وعلّق قطعة الماغنسيوم والأنبوب نصف النفاذ في الدورق، وثبتهما في مكانهما بسدادة كبيرة. وضع الملاقط على كل قطعة فلزية، وصلهما بمقياس الجهد.

النتائج

سيظهر الفولتمتر قراءة الجهد عند وصل الأسلاك؛ حيث يحدث التأكسد عند قطعة الماغنسيوم، وهي الأنود، حسب التفاعل $Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$

في حين يحدث الاختزال عند قطعة النحاس، وهي الكاثود، حسب التفاعل $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$.

التحليل

1. توقع أي الفلزات هو الأنود، وأيها هو الكاثود. Mg هو الأنود و Cu هو الكاثود.
2. لماذا نحتاج إلى النحاس وكبريتات النحاس معًا؟ أيونات Cu^{2+} تختزل على سطح سلك النحاس وهو موقع الاختزال.
3. لماذا لا نحتاج إلى مصدر لأيونات الماغنسيوم؟ يتأكسد الماغنسيوم وينتج أيونات الماغنسيوم؛ إذ ليس من الضروري البدء بوجود أيونات الماغنسيوم.

التقويم

الأداء اطلب إلى الطلاب تصميم خلية كهروكيميائية تنتج جهدًا تحدده أنت اعتمادًا على **الجدول 1–7**، اطلب إليهم تفسير أسباب اختيارهم لهذه التصاميم والمحاليل والأقطاب. ض م

مسائل تدريبية

1. $Pt^{2+}_{(aq)} + Sn_{(s)} \rightarrow Pt_{(s)} + Sn^{2+}_{(aq)}$

$E^0_{cell} = +1.32V$

$Sn|Sn^{2+} \,||\, Pt^{2+}|Pt$

2. $3Co^{2+}_{(aq)} + 2Cr_{(s)} \rightarrow 3Co_{(s)} + 2Cr^{3+}_{(aq)}$

$E^0_{cell} = 0.46V$

$Cr|Cr^{3+} \,||Co^{2+}|Co$

3. $Hg^{2+}_{(aq)} + Cr_{(s)} \rightarrow Hg_{(l)} + Cr^{2+}_{(aq)}$

$E^0_{cell} = +1.764V$

$Cr|Cr^{2+}||Hg^{2+}|Hg$

4. $4NO^-_{3(aq)} + 12OH^-_{(aq)} + 16H^+_{(aq)} \rightarrow 3O_{2(g)} + 4NO_{(g)} + 14H_2O_{(l)}$

$E^0_{cell} = +0.556V$

$OH^-|O_2||NO^-_3|NO$

5. $E^0_{cell} = +0.4974V$

تلقائي $E^0_{cell} > 0$

6. $E^0_{cell} = +2.246V$

تلقائي $E^0_{cell} > 0$

7. $E^0_{cell} = -0.587V$

غير تلقائي $E^0_{cell} < 0$

8. $E^0_{cell} = -2.29V$

غير تلقائي $E^0_{cell} < 0$

9. $2Al + 6Hg^{2+} \longrightarrow 2Al^{3+} + 3Hg^{2+}_2$

$E^0_{cell} = +2.582\ V$

التفاعل تلقائي.

ماذا قرأت؟ موجب.

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 1–7** لحساب الجهد القياسي للخلايا الجلفانية. والاستعمال الآخر المهم لجهود الاختزال القياسية هو تحديد هل سيكون التفاعل المقترح تحت الظروف القياسية تلقائيًا؟ 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 تلقائيًا.

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 1–7** 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. $2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + Co^{2+}_{(aq)} \rightarrow Co_{(s)} + S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}$
9. **تحفيز** اكتب المعادلة، وحدّد جهد الخلية E° للخلية الآتية باستعمال **الجدول 1–2**. هل التفاعل تلقائي؟

$Al \mid Al^{3+}{}_{(1M)} \,||\, Hg^{2+}{}_{(1M)} \mid Hg_2^{2+}{}_{(1M)}$

مختبر الكيمياء يمكن استعمال مختبر الكيمياء الموجود في نهاية الفصل عند هذه المرحلة من الدرس.

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:

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$

كل ما تحتاج إليه هو جدول لجهود الاختزال، مثل **الجدول 1-7**.

1. ابحث عن نصفي التفاعل في **الجدول 1-7**.
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.

(اختزال) $Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ $E^0 = -0.037\ V$

(أكسدة) $Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Mn_{(s)}$ $E^0 = -1.185\ V$

3. اكتب معادلة الاختزال كما هي في **الجدول 1-7**، واكتب معادلة الأكسدة في الاتجاه المعاكس.

$Fe^{3+}_{(aq)} + 3e^- \rightarrow Fe_{(s)}$ و $Mn \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

استراتيجية حل المسألة

حدّد E° لتفاعل التأكسد والاختزال التلقائي الذي يحدث بين الماغنسيوم والنيكل.

4. زن الإلكترونات في معادلات نصفي الخلية بضرب كلتا المعادلتين في المعامل المناسب، ثم اجمعها.

اضرب في 2 $2Fe^{3+}_{(aq)} + 6e^- \rightarrow 2Fe_{(s)}$

اضرب في 3 $3Mn_{(s)} \rightarrow 3Mn^{2+}_{(aq)} + 6e^-$

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.

$E^0_{cell} = E^0_{Fe^{3+}/Fe} - E^0_{Mn^{2+}/Mn} = -0.037\ V - (-1.185\ V)$

$= +1.148\ V$

التقويم 1-7

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 1-2 مبتدئًا بالمصطلح "خلية كهروكيميائية"، ثم أدرج جميع المصطلحات الجديدة في خريطتك.

47

التقويم 1-7

10. تُنتج الخلية الكهروكيميائية التي تحتوي على نصفي تفاعل الأكسدة والاختزال والموصولين بقنطرة ملحية تيارًا كهربائيًّا خلال سلك توصيل.
11. تتكون الخلية الجلفانية من أنود وكاثود وقنطرة ملحية وسلك توصيل بين القطبين. يحدث التأكسد على الأنود، في حين يحدث الاختزال على الكاثود. وتسمح القنطرة الملحية بحركة الأيونات من محلول إلى آخر، كما يسمح السلك بمرور الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.
12. a. $2Ag^+ + Ni \rightarrow 2Ag + Ni^{2+}$
    b. $Mg + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + H_2$
    c. $2Fe^{3+}_{(aq)} + 3Sn_{(s)} \rightarrow 2Fe_{(s)} + 3Sn^{2+}_{(aq)}$
    d. $Pb_{(s)} + 2I^-_{(aq)} + Pt^{2+}_{(aq)} \rightarrow PbI_{2(s)} + Pt_{(s)}$
13. a. غير تلقائي b. تلقائي c. تلقائي
14. ستتنوع الخرائط المفاهيمية.

استراتيجية حل المسألة

طبّق الاستراتيجية

$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$

$E^0 = -2.372\ V$ (تأكسد)

$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$

$E^0 = -0.257\ V$ (اختزال)

$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^-$

$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$

المعادلة الكلية

$Mg + Ni^{2+} \rightarrow Mg^{2+} + Ni$

$E^0_{cell} = -0.257V - (-2.372) = +2.115V$

3. التقويم

التحقق من الفهم

زوّد الطلاب بمخطط لخلية كهروكيميائية، واطلب إليهم تحديد نصف الخلية والأنود والكاثود، والإشارة إلى اتجاه حركة الإلكترونات باستعمال الأسهم. ض م

إعادة التدريس

اسمح للطلاب بالعمل في مجموعات صغيرة، ودعهم يكتبوا على بطاقات العناوين أي أسئلة يحتاجون إليها فيما يتعلق بالقسم 1-7، على أن يضع كل منهم رقم المجموعة على البطاقات. ثم اجمع الأسئلة واخلط البطاقات وأعد توزيعها على مجموعات مختلفة، واطلب إلى الطلاب الإجابة عن الأسئلة التي أعطيت لهم. وعند اقتراب نهاية الحصة أعد الأسئلة والإجابات إلى الطلاب الذين أعدوها؛ حتى يتمكنوا من مراجعة الإجابات المقترحة. ض م تعلم تعاوني

التوسع

دع الطلاب يفسروا الفرق بين جهود الاختزال القياسية وقطب الهيدروجين القياسي، مستخدمين كلماتهم الخاصة. ض م

7–2

1. التركيز

شريحة التركيز

قبل بدء الدرس، اعرض على الطلاب شريحة التركيز رقم (22) الواردة في مصادر التعلم للفصول (9-6)، ويمكنك عرضها ملونة من خلال الرجوع إلى الموقع الإلكتروني: د م

www.obeikaneducation.com

الفكرة الرئيسة

استعمالات البطارية أحضر بطاريات متنوعة إلى الصف، واسأل الطلاب حول استعمالات كل منها. ستتباين الإجابات اعتمادًا على البطاريات. العديد من البطاريات لها استعمالات متنوعة، في حين أن أنواعًا أخرى لها استعمال واحد مثل بطارية الساعة. ثم اسأل الطلاب: ما الأشياء المشتركة بين البطاريات؟ تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. دع الطلاب يتفحصوا بطارية عن قرب، ويلاحظوا الطرف الموجب والطرف السالب. وأخبرهم أن هذا يشير إلى الأنود والكاثود في الخلية الجلفانية التي تكوّن البطارية. ض م

2. التدريس

تطوير المفهوم

تطبيقات البطارية اطلب إلى الطلاب عمل قائمة بأنواع البطاريات المختلفة التي يجدونها في منازلهم وتطبيقاتها. وقد تتضمن مثل هذه القائمة: البطارية الجافة الشائعة، والبطاريات القلوية (نوع آخر من الخلايا الجافة)، وبطاريات الليثيوم، وبطاريات NiCd، وبطاريات الرصاص- الحمض. ويمكن أن يضمنوا هذه القائمة بطاريات يمكن إعادة شحنها أو تستخدم مرة واحدة مثل، AA و AAA و C و D، وبطاريات الخلية الجافة ذات 9 و6 فولت. ثم اطلب إليهم المقارنة بين تكلفة الأنواع المختلفة للبطاريات. ض م

7–2

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

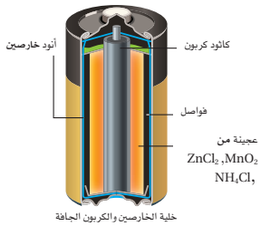
تزود بعض تفاعلات الخلايا التلقائية التي درستها البطاريات بالطاقة التي نستعملها يوميًّا. **والبطارية** عبارة عن خلية جلفانية أو أكثر في عبوة واحدة تنتج التيار الكهربائي. ولقد كانت البطارية الجافة المكونة من الخارصين والكربون، كما في **الشكل 8–7**، هي الأكثر استعمالاً منذ اكتشاف البطارية عام 1860 م حتى 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:

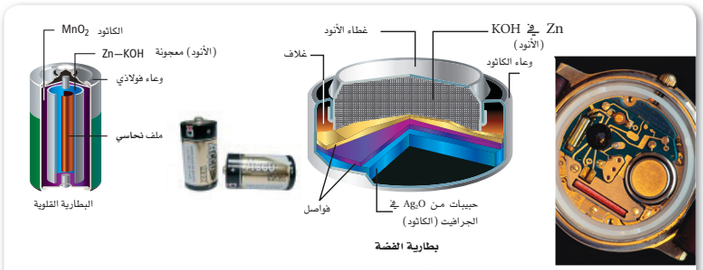
$$Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

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:

$$2NH_4^+{}_{(aq)} + 2MnO_{2(s)} + 2e^- \rightarrow Mn_2O_{3(s)} + 2NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$



الشكل 8-7 تتكون ما يطلق عليه الخلية الجافة من عجينة رطبة يحدث فيها نصف تفاعل الاختزال، وتعمل حافظة الخارصين في خلية الخارصين والكربون عمل الأنود.



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 1–7. 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 9–7**. 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 9–7** أصغر حجمًا، وتستعمل في تزويد الأجهزة بالطاقة، ومنها ساعات 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 9-7 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.

عرض سريع

داخل البطارية افتح بطارية قدرتها 9 فولت باستعمال المفك؛ لعرضها على الطلاب؛ حتى يتمكنوا من رؤية مكوّناتها. أشر إلى قطبي الكربون والخارصين. ودع الطلاب يعدوا الخلايا داخل البطارية، واسأل: لماذا يوجد أكثر من خلية بدلاً من خلية واحدة؟ تحذير: لا تبلل عجينة البطارية؛ لأن ذلك يسبب إنتاج حرارة عالية جدًّا. على الطلاب أن يدركوا أنه يجب أن تحتوي البطارية على عدد من الخلايا الكهروكيميائية لإنتاج كمية محددة من الطاقة تساوي حاصل ضرب عدد الخلايا في قيمة الطاقة التي تنتجها كل خلية. فبطارية قدرتها 9 فولت تحتوي على 6 خلايا كل منها ينتج 1.5 فولت، لذا تكون الطاقة الكلية 9 فولت. ض م

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلاب تحديد فرق الجهد الكلي لبطارية مصباح كهربائي تحتوي على 4 بطاريات بحجم D، وينتج كل منها 1.5 فولت. إذا كانت كل بطارية تنتج 1.5 V فإن الطاقة الكلية للبطاريات الأربع تكوّن 6 فولت. ض م

ماذا قرأت؟

$$Zn_{(s)} + 2OH^-_{(aq)} \rightarrow ZnO_{(s)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$$

طرائق تدريس متنوعة

ضعاف السمع يوفر الكثير من صانعي البطاريات التجارية "المعروفة تجاريًّا" مواقع إلكترونية للمستهلكين للاطلاع على المعلومات المتعلقة بالمنتج؛ لذا اطلب إلى الطلاب الدخول إلى موقع أو أكثر من هذه المواقع وتعرّف المعلومات التي تعرضها هذه المواقع عن كيميائية البطارية وأداء منتجاتهم. ض م

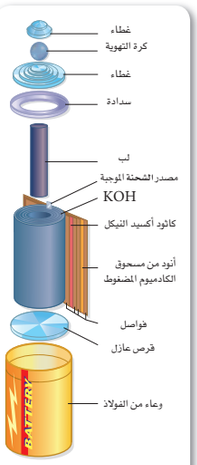
التوسع

التخلص من البطاريات ذكّر الطلاب بأن الكثير من البطاريات تحتوي على فلزات سامة، ومنها الكاديميوم والزئبق والنيكل والرصاص. ثم اطلب إليهم إعداد بحوث تبين المشكلات البيئية التي يمكن أن تحدث إذا تم التخلص من هذه الفلزات بطريقة غير صحيحة. دعهم يبحثوا عن طرائق التخلص من بطاريات السيارة في مجتمعاتهم. واسأل: هل هناك إجراءات خاصة للتخلص من أنواع أخرى من البطاريات في مجتمعاتهم، حسب القوانين والسياسات المحلية؟

التعزيز

فحص شحنة البطارية اسأل الطلاب: كيف يمكن معرفة أن البطارية أصبحت غير مشحونة؟ ابحث في محتويات التغليف التي قد توفر للمستهلك طريقة فحص الشحنة المتبقية في البطارية. وساعد الطلاب على اكتشاف كيفية عمل هذا الفحص، وضع بعض البطاريات في متناول أيديهم لفحصها.

ض م



الشكل 7-10 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.

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 – كاديموم قابلة للشحن، وتسمى في بعض الأحيان بطاريات NiCad، كما في **الشكل 7-10**. 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:

$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 4H^+_{(aq)} + 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow 2\,PbSO_{4(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

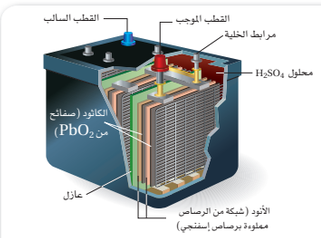
وبالنظر إلى تفاعلات نصفي الخلية يمكنك ملاحظة أن كبريتات الرصاص II $PbSO_4$

50

مشروع الكيمياء

خلايا الوقود اطلب إلى الطلاب أن يبحثوا عن بعض التطبيقات الحالية لخلايا الوقود، وأن يضعوا قائمة بتلك التطبيقات. واطلب إليهم أيضًا البحث في تطبيقات مستقبلية لخلايا الوقود، من حيث فوائدها ومحددات استعمالاتها. ض م

يسبب انخفاض مستوى المحلول الموصل نفاد شحنة البطارية . وتقوم أسلاك الشحن بوصل التيار من سيارة بها بطارية جيدة 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 .

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 11–7** 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 V 3.04- كما في **الجدول 1–7**. لذا تولد البطارية التي تؤكسد الليثيوم على الأنود V 2.3 تقريبًا أكثر من البطاريات المشابهة، وتؤدي إلى تأكسد الخارصين.

الشكل 11-7 تستهلك بطاريات المركم الرصاصي المستعملة في السيارات عند تشغيل السيارة، وتشحن عندما يعمل المحرك.

المفردات

أصل الكلمة

السعة (Capacity): من أصل لاتيني وتعني القدرة على الاستيعاب أو الاحتواء.

دفتر الكيمياء

البطاريات القابلة للشحن اطلب إلى الطلاب البحث عن تكلفة البطاريات القابلة وغير القابلة للشحن للاستعمال المنزلي والمقارنة بينهما، وكذلك مقارنة التكلفة بعدد ساعات التشغيل التي نحصل عليها من البطارية، على أن تشمل المقارنة أسعار جهاز الشحن. وذكّرهم بحساب سعر الشاحن. واطلب إليهم تقديم تقرير عن البيانات التي تم جمعها وعرضها على الصف لمناقشة أكثرها جدوى من حيث التكلفة لشرائها.

ض م

ماذا قرأت؟ يتأكسد الرصاص Pb^{2+} خلال الشحن في $PbSO_4$ إلى Pb^{4+} في PbO_2، ويختزل إلى Pb.

الخلفية النظرية للمحتوى

الارتفاع الحراري هو التأثير المتتالي لتفاعل طارد للطاقة يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط الذي يحدث فيه؛ لذا يزيد من سرعته فينتج حرارة أكثر. لقد أسهم الارتفاع الحراري في حوادث المصانع الكيميائية. فعند تعرض بطاريات أيون الليثيوم المغلقة والمصنعة بطريقة غير سليمة لارتفاع حراري يؤدي ذلك إلى رفع درجة حرارتها، ثم الانفجار. ولتفادي حوادث بطاريات أيون الليثيوم تركب أجهزة أمان في البطارية إجباريًّا، وتحوي هذه الأجهزة فواصل إغلاق وإشارات تحذيرية (tear–away tabs) وفتحات للتهوية. وقد نجم عن التلوث الداخلي الناتج عن الفلزات العديد من انفجارات بطاريات الحاسوب المحمول، ممّا تطلّب استرجاع أعداد كبيرة منها في عام 2006م.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

يعتقد عدد كبير من الطلاب أن الخلايا الجافة هي جافة بالفعل.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلاب وصف تصورهم للجزء الداخلي من بطارية الخلية الجافة، ومعلوماتهم حول تماسك المادة في المركز.

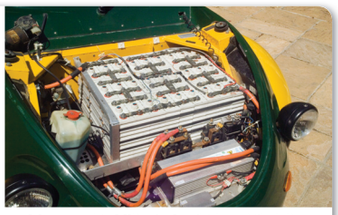
عرض المفهوم

اعرض على الطلاب مقطعًا عرضيًّا لبطارية تم فتحها. يمكن فتح بطارية الـ 9V بمفك وكماشة. غطِّ الجزء الداخلي المعرَّض للهواء بغطاء بلاستيكي حتى لا تجف العجينة ولا يلمسها الطلاب. **تحذير: لا تقصّ مقطعًا عرضيًّا في بطارية خلية جافة قلوية؛ وذلك لاحتوائها على مادة حارقة.** وإذا لم يكن في الإمكان الحصول على مقطع بطارية عادية أو بطارية 9V، فإنك تستطيع الرجوع إلى **الشكل 11–7** بوصفه بديلاً لذلك.

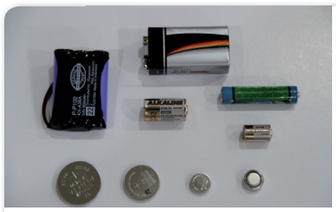
تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلاب أن يفسروا لماذا لا تكون الخلية الجافة جافة؟ تحتوي الخلية الجافة على عجينة محلول موصل من كلوريد الخارصين وأكسيد المنجنيز IV وكلوريد الأمونيوم وكمية قليلة من الماء. ض م

ماذا قرأت؟ هي خفيفة وعمرها طويل وتخزن كمية كبيرة من الطاقة بالنسبة إلى حجمها؛ وبعضها يمكن إعادة شحنه. ض م



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 12-7 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 **12–7** 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 بالفيزياء **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.

طرائق تدريس متنوعة

متعلمو اللغة اطلب إلى الطلاب بناء نماذج لمقاطع البطاريات الموضحة بالرسوم في الكتاب، أو تلك التي حصلوا عليها من خلال أبحاثهم، وذكّرهم بالأشكال المتنوعة للبطاريات في الكتاب، ثم اطلب إليهم كتابة أسماء أجزاء البطاريات جميعها باللغتين العربية والإنجليزية. د م

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؟ خلية الوقود – كما في الخلايا الجلفانية الأخرى – أنود وكاثود، وتتطلب محلولاً موصلًا؛ 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.

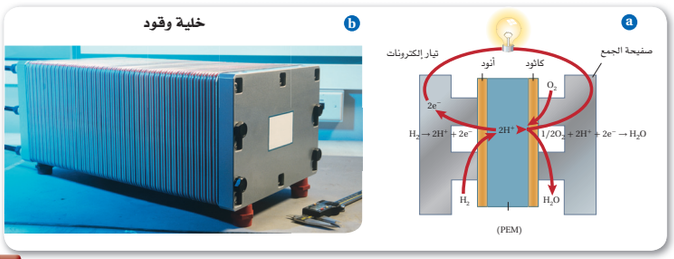
وتستخدم بعض الخلايا وقودًا غير الهيدروجين. فمثلاً يستبدل الهيدروجين بالميثان في بعض الخلايا إلا أنه قد يؤدي إلى إنتاج ثاني أكسيد الكربون كغاز الدفيئة. وتستعمل خلايا الوقود، كما في **الشكل 13–7**، صفيحة بلاستيكية تسمى غشاء تبادل البروتون proton – exchange membrane (PEM)، مما يستبعد الحاجة إلى محلول موصل 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 13-7

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 .

تطوير المفهوم

منع التآكل اسأل الطلاب: هل يصلح استعمال النحاس كاثودًا جيدًا لمنع تآكل الحديد؟ لا؛ لأن الحديد يتأكسد بسهولة أكثر من النحاس. ناقش الطلاب في استعمالات الفلزات كاثودًا لمنع تآكل أنابيب الحديد؟ من الأسئلة التي يمكن طرحها: ما العناصر التي يشيع استعمالها على أنها كاثودات فلزية أو موانع للتآكل؟ ض م

التوسع

حل المشكلات دع الطلاب يقرؤوا مقالات إخبارية أو يشاهدوا فيلمًا حول مهمة أبولو 13 التي انفجر خلالها خزان الأكسجين وحطم خلايا الوقود في الكبسولة الفضائية. وضح لهم كيف أن حل المشكلة الإبداعي كان المفتاح لعودة رجال الفضاء سالمين. ض م

ماذا قرأت؟ لا يمكن أن تنضب خلايا الوقود ما دامت تُزود بالوقود على نحوٍ مستمر.

التنوع الثقافي

المحافظة على الكنوز الوطنية ذكّر الطلاب بأن الجسور والسيارات ليست الأشياء الوحيدة المعرضة للتآكل. فالعديد من الأشياء الفنية معرضة للتآكل أيضًا. اطلب إلى الطلاب البحث عن كنوز وطنية ذات أهمية للثقافات العالمية ومعرضة لخطر التآكل. اطلب إليهم وصف الخطوات التي يمكن اتخاذها للحفاظ على هذه الكنوز.

مختبر تحليل البيانات

حول التجربة

- خلايا الوقود الحيوي هي أجهزة تحول الطاقة الأيضية الميكروبية إلى طاقة كهربائية.
- يجب توافر الإلكترون الوسيط لنقل الإلكترون الميكروبي إلى قطب خلية الوقود.
- ابحث في شبكة الإنترنت عن مقالات أخرى متعلقة بخلايا الوقود الحيوي.

التفكير الناقد

1. 15 min
2. 2. نعم، يرتفع التيار بصورة ملحوظة خلال 15 min في التجربة.
3. 3.7 mA تقريبًا.

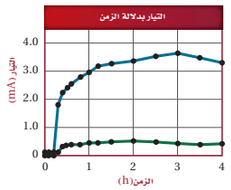
مختبر تحليل البيانات

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 14–7**؛ 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 15–7**.

$$Fe_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

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 14-7 يتأكسد الحديد ببطء عند تركه مكشوفًا ومعرضًا للهواء والرطوبة مكونًا الصدأ (Fe_2O_3).

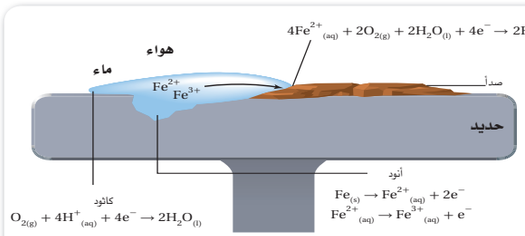
طرائق تدريس متنوعة

فوق المستوى دع الطلاب يبحثوا لماذا ستكون تقنية الوقود الحيوي ذات فائدة كبيرة لنوعية الحياة على كوكبنا؟ ودعهم يقوّموا المحددات والمعيقات التي يجب تخطيها لجعل الوقود الحيوي بديلاً معقولاً لمصادر الطاقة الأخرى. **ف م**

دفتر الكيمياء

حماية الأدوات اطلب إلى مجموعة صغيرة من الطلاب القيام بزيارة متجر المعدات وإعداد قائمة بالأنواع المختلفة للمسامير وطرائق حمايتها من التآكل. سيجد الطلاب – بالاعتماد على نوع المتجر – أن المسامير مصنوعة من الحديد أو الألومنيوم والنحاس الأصفر، وبعضها مطلي ومجلفن أو مطلي بالطرائق الباردة أو الساخنة أو مطلي كهربائيًّا.

ض م **تعلم تعاوني**



الشكل 15-7 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 16-7** مثلًا، فإنه يجب إعادة طلائه مرات عديدة.

الشكل 16-7 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.

التقويم

المعرفة نصفا التفاعل في بطارية النيكل –الكادميوم هما:

$$Cd + OH^- \rightarrow CdO + H_2O + e^-$$

و $NiO + H_2O + e^- \rightarrow Ni + OH^-$

اطلب إلى الطلاب أن يوازنوا التفاعلات باستعمال طريقة نصف التفاعل، ويحددوا ما الذي تأكسد، وما الذي اختزل، وأي العنصرين يعد الأنود، وأيهما يعد الكاثود. وإذا استعين بمصدر خارجي خلال عملية الشحن، فأي العنصرين يصبح الأنود، وأيهما يصبح الكاثود. ثم اطلب إلى الطلاب كذلك رسم أشكال الخلية الكهروكيميائية ووضع أسماء الأجزاء عليها.

■ **إجابة سؤال الشكل 15–7** Fe^{2+} و Fe

طرائق تدريس متنوعة

ضعاف السمع عيّن لكل طالب زوجًا من التفاعلات التي تشكل خلية كهروكيميائية. واطلب إليهم إعداد ملصق حائط لكل منهما يشتمل على رسم الخلية والتفاعل الكهروكيميائي فيها مستخدمين أكبر عدد من مفردات ومفاهيم هذا الفصل.

تجربة

الهدف يلاحظ الطلاب تأثير التآكل لفلزين مختلفين في مسمار الحديد.

المهارات العملية التصنيف، الملاحظة والاستنتاج، وإدراك علاقات السبب والنتيجة.

احتياطات السلامة تأكد من تعبئة الطلاب لبطاقة السلامة في المختبر قبل بدء العمل. ثم اطلب إلى الطلاب اتخاذ الحيطة والحذر من رأس المسمار المدبب، والتأكد من كمية شرائط الماغنسيوم قبل التجربة وبعدها.

التخلص من النفايات يمكن سكب المحاليل في المغسلة، ولكن لا تلقِ قطع النحاس والماغنسيوم في المغسلة، بل اغسلها بالماء وأعدْ استعمالها.

استراتيجيات التدريس

- راجع كيفية تحضير المحاليل.
- ينتج عن هذه التجربة نتائج متعددة؛ لذا اطلب إلى الطلاب مناقشة التنوع في نتائجهم.

النتائج المتوقعة يظهر المسمار المغلف بالنحاس علامات التآكل، ويبقى النحاس نظيفًا لامعًا في كلا الدورقين. كما يظهر راسب برتقالي في كل منهما. يتآكل الماغنسيوم في كل من المسمارين الملفوفين به، ويبقى المسمار كما هو.

التحليل

1. يحدث تآكل المسمار المغمور في الماء المالح أكثر من تآكل المسمار المغمور في الماء المقطر.
2. يحدث تآكل لفلز الماغنسيوم في الماء المالح بصورة أكبر من تآكله في الماء المقطر.
3. يتآكل المسمار الملفوف بالنحاس، في حين لا يتآكل المسمار الملفوف بالماغنسيوم، ولكن الماغنسيوم هو الذي يتآكل بدلاً من المسمار.

تجربة

ملاحظة التآكل

أي الفلزات ستتآكل؟

خطوات العمل

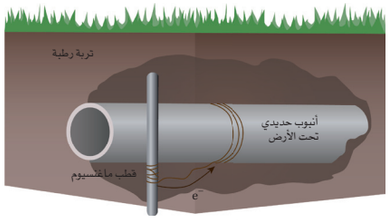
1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل ورق الصنفرة لتلميع سطوح أربعة مسامير حديد، وغلّف مسمارين بشريط ماغنسيوم، وغلف مسمارين آخرين بقطع من النحاس، وتأكد من إحكام لفّ المسامير حتى لا تنزلق.
3. ضع المسامير في كؤوس منفصلة، وأضف ماءً مقطرًا إلى أحد المسمارين الملفوفين بالماغنسيوم وأحد المسمارين الملفوفين بالنحاس. وأضف كمية ماء كافية حتى تغمر المسمارين، ثم أضف ماء مالحًا إلى الكأسين الآخرين، 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 17-7.

الشكل 17-7 يستعمل الماغنسيوم أو أي فلز نشط آخر لمنع التآكل؛ إذ يتأكسد الماغنسيوم الملفوف حول أنابيب الحديد المدفونة في الأرض أولًا، مما يساعد على منع تآكل الأنابيب.

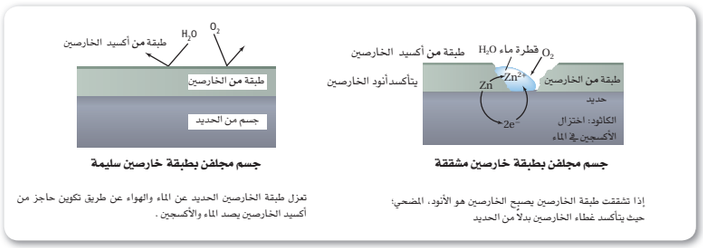


الأكسدة : $Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$

الاختزال : $O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^- \rightarrow 2H_2O_{(l)}$

التقويم

الأداء دع الطلاب يختبروا أنواعًا مختلفة من المسامير المغطاة بأغطية الحماية من التآكل. وعليهم لف هذه المسامير ووضعها في الماء المقطر والماء المالح وتسجيل الملاحظات لما يحدث خلال مدة من الزمن. ض م



الشكل 18-7 تساعد الجلفنة على منع التآكل بطريقتين.

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 كهربائيًا. 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 18-7** كيف تعمل طريقتا الحماية من التآكل.

التقويم 2-7

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 1-7 جهد خلية وقود الهيدروجين-الأكسجين الموضحة في صفحة 53.

21. صمّم تجربة استخدم معرفتك بالأحماض في ابتكار طريقة لتحديد ما إذا كان المركم الرصاصي مشحونًا بصورة كاملة أم أن شحنه بدأ ينفد.

3. التقويم

التحقق من الفهم

اطلب إلى الطلاب إعداد مخطط للمقارنة بين الأنواع الرئيسة من البطاريات (الخلايا الجافة أو البطاريات الأولية والمراكم الرصاصية وخلايا الوقود) التي نوقشت في هذا الفصل، والمقارنة بينها من حيث الحجم وكمية الطاقة الناتجة وطول عمر البطارية. ض م

إعادة التدريس

تأكد من فهم الطلاب للاختلافات بين البطاريات الأولية والثانوية. واطلب إليهم تصنيف البطاريات المختلفة، والموصوفة بالأولية أو الثانوية، وتفسير ذلك. ض م

التوسع

اطلب إلى الطلاب البحث عن طرائق منع تآكل وصدأ معادن السفن العابرة للمحيطات؛ وذلك بتعليق قطع كبيرة من الماغنسيوم على طول هيكل السفينة . يتأكسد الماغنسيوم الأكثر نشاطًا بدلاً من الحديد، ويحل محل قطع الماغنسيوم المستنفذة قطع جديدة. ض م

التقويم

المعرفة اسأل الطلاب عن أسباب اختلاف أنواع البطاريات التي قد تستعمل لتشغيل لعب الأطفال عن البطارية التي تستخدم في جهاز تنظيم ضربات القلب الذي يزرع جراحيًّا. إن أهم الأسباب هو المدة الزمنية التي تستعمل خلالها البطارية قبل أن تستبدل. ويعد الحجم هو السبب الثاني. وتعد قدرة البطارية على البقاء في الجسم ومقاومتها للتآكل والتلف أطول فترة سببًا آخر للاختلاف، أما الأسباب الأخرى التي تتعلق بالتكلفة فهي أقل أهمية. ض م

التقويم 2-7

15. يتأكسد Zn، ويختزل MnO_2 في العجينة الموصلة للتيار. يكون Zn في صورة مسحوق لتوفير مساحة سطح أكبر للتفاعل. تستبعد الخلايا القلوية قطب الكربون غير النشط بوصفه كاثودًا.

16. يجبر مصدر الطاقة المضاف إلى نظام الخلية على العمل في الاتجاه غير التلقائي المعاكس؛ لذا تُعاد المواد الأصلية إلى الخلية.

17. يتأكسد غاز الهيدروجين على الأنود ويختزل غاز الأكسجين لأيونات الهيدروكسيد على الكاثود. ويمثل التفاعل الكلي بالمعادلة الآتية:

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)}$$

18. للأنود المضحي جهد اختزال أقل من جهد اختزال الفلز المراد الحفاظ عليه ومنع تآكله. تتشقق طبقة الجلفنة التي تتكون من الخارصين أو تتكسر. ويفضل الخارصين التآكل تاركًا الفلز الذي تحته خاليًا من التآكل.

19. عنصر Li خفيف وله أقل جهد اختزال من كل الفلزات، وينتج طاقة أكبر مما تنتجه نصف خلية الخارصين.

20. $E^0_{cell} = +1.229V$

21. ستتنوع التصاميم؛ ومنها يمكن معايرة عينة من محلول حمض الكبريتيك الموصل للتيار مع قاعدة، ومقارنة مولاريته بمولارية عينة من محلول حمض الكبريتيك المأخوذ من بطارية جديدة.

7–3

1. التركيز

شريحة التركيز

قبل بدء الدرس، اعرض على الطلاب شريحة التركيز رقم (23) الواردة في مصادر التعلم للفصول (9-6)، ويمكنك عرضها ملونة من خلال الرجوع إلى الموقع الإلكتروني: د م

www.obeikaneducation.com

الفكرة الرئيسة

خلايا التحليل الكهربائي أحضر شاحن بطارية إلى الصف، واسأل الطلاب: ما استعمالاته؟ يستعمل في شحن البطارية عند نفاد شحنها. واسأل أيضًا: كيف يعمل؟ تنعكس التفاعلات التي تستهلك البطارية. ثم أخبر الطلاب أن شاحن البطارية يعمل؛ لأن البطارية تصبح خلية تحليل كهربائي بدلاً من خلية جلفانية. ض م

2. التدريس

تطوير المفهوم

التفاعلات الانعكاسية لا يدرك الطلاب أن التفاعلات دائماً انعكاسية. لذا ارجع إلى مثال تدحرج كرة الجولف من أعلى التل؛ الذي عُرض في بداية الفصل، واسأل الطلاب عما يجب فعله حتى يمكن إعادة الكرة إلى أعلى التل. يتطلب توافر طاقة لاستعمالها في دفع الكرة إلى أعلى التل. وكذلك يمكن إجبار التفاعل على الحدوث في الاتجاه العكسي، عند بذل الطاقة الكهربائية الخارجية. ض م

إجابة سؤال الشكل 19-7 في الخلية الجلفانية، يتأكسد الخارصين ويُختزل النحاس، أما في خلية التحليل الكهربائي فيتأكسد النحاس ويُختزل الخارصين.

طرائق تدريس متنوعة

ضعاف البصر اسأل الطلاب الضعاف البصر أن يصفوا شفهيًّا لماذا يساعد إضافة مادة متأينة إلى الماء في عملية التحليل الكهربائي. يجب أن يفسر الطلاب أن الماء جزيء قطبي؛ لذا فهو موصل ضعيف للكهرباء. ض م

7–3

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

التحليل الكهربائي Electrolysis

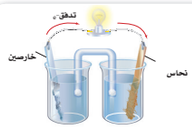
الفكرة الرئيسة **يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث تفاعل غير تلقائي في الخلايا الكهروكيميائية.**

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 19-7**؛ 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.



الخلية الجلفانية

تعمل أكسدة الخارصين في هذه الخلية على تزويد المصباح بالإلكترونات لإضاءته واختزال أيونات النحاس. ويستمر التفاعل التلقائي حتى يستهلك الخارصين.

خلية التحليل الكهربائي

عندما يتم تزويد الخلية بطاقة خارجية ينعكس تدفق الإلكترونات ويحدث التفاعل غير التلقائي، الذي يستعيد الوضع الأصلي للخلية.

الشكل 19-7 يمكن أن تكون خلية الخارصين والنحاس الكهروكيميائية خلية جلفانية أو خلية تحليل كهربائي.

استنتج أي الفلزين يتأكسد، وأيهما يختزل في كل من الخليتين؟

58

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 20-7**؛ 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:

$$Na^+_{(l)} + e^- \rightarrow Na_{(l)}$$

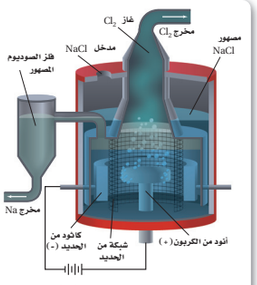
ويكون التفاعل الكلي للخلية كما يلي

$$2Na^+_{(l)} + 2Cl^-_{(l)} \rightarrow 2Na_{(l)} + Cl_{2(g)}$$

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 20-7 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.

مشروع الكيمياء

وسائط نقل بديلة يتم البحث عن بدائل للسيارات التي تعمل بالبنزين. وأحد هذه البدائل المحتملة هو السيارات الكهربائية. لذا اطلب إلى الطلاب العمل في مجموعات، والبحث في هذين النوعين من السيارات، من حيث التكلفة والطاقة والمسافة المقطوعة التقريبية لكل منهما. وانصحهم باستعمال الجداول في عرض نتائج البحث، وبيان الأسباب التي تدعوهم إلى تفضيل شراء سيارات تعمل بالكهرباء أو البنزين . ثم اطلب إلى كل مجموعة عرض ما توصلت إليه على الصف.

ض م تعلم تعاوني

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد لا يعرف الطلاب الفرق بين مصهور كلوريد الصوديوم والماء المالح.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلاب رسم صورة توضح الفرق بين مصهور NaCl ومحلول NaCl المركز.

عرض المفهوم

ذكّر الطلاب أن عنصري الصوديوم والكلور عنصران سريعا التفاعل، ولا يوجدان في الطبيعة في صورة عناصر حرة منفردة. لذا صمم لوحة انسيابية توضح تقنية التحليل الكهربائي التي تنتج هذه العناصر.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلاب إعداد قائمة باستعمالات الكلور والصوديوم، بوصفهما مواد خام في العمليات الصناعية.

ض م

الإثراء

ترميم القطع الفنية اطلب إلى الطلاب البحث في عملية العزل الكهربائي بوصفه طريقة أخرى لترميم القطع الفنية التاريخية بواسطة تحليل الملح والأتربة والدقائق الأخرى المترسبة على القطع . واطلب إليهم وصف كيميائية هذه الطريقة في هذا التطبيق.

ض م

ماذا قرأت؟ تتحرك الأيونات فقط إذا كانت في حالة المصهور أو المحلول.

المطويات

اطلب إلى الطلاب تضمين معلومات من هذا القسم في مطويتهم.

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلاب كتابة تفسير يصفون فيه الاختلافات بين خلايا التحليل الكهربائي والخلايا الكهروكيميائية. ض م

عرض سريع

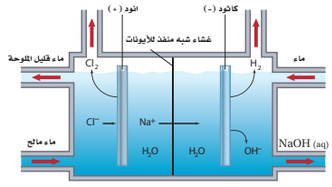
مكوّنات القطع النقدية المعدنية وضح للطلاب أن العملة المعدنية عبارة عن سبيكة تتكون من الخارصين ومطلية بقشرة من النحاس. ثم اخدش 1/3 حافة إحدى القطع من الجهتين بالمبرد على أن تبقى بعض الحواف متصلة من أسفل ومن أعلى. وضع القطعة في كأس بها حمض الهيدروكلوريك (3M) واتركها طوال الليل. وتخلص في اليوم التالي من الحمض بسكبه في المغسلة مع كمية كبيرة من الماء، واغسل القطعة النقدية، ونشفها بحذر. فيكون ما تبقى هو الغلاف النحاسي للقطعة الذي يحمل الصورة وأبعاد القطعة، في حين تفاعل الخارصين في الداخل مع حمض الهيدروكلوريك، ثم اسأل الطلاب: لماذا تفاعل الخارصين ولم يتفاعل النحاس؟ وهل تفاعل الخارصين مع أيون الهيدروجين بشكل تلقائي؟ ذكّر الطلاب أنه حتى يتم طلاء الخارصين بالنحاس فإنه يجب اختزال أيونات النحاس على الكاثود.

ماذا قرأت؟ تتأكسد أيونات الكلوريد Cl^- ويختزل الهيدروجين في جزيئات الماء.

دفتر الكيمياء

الماء المالح اسأل الطلاب: أي العناصر تكسب إلكترونات، وأيها تخسر؟ وما العدد الكلي للإلكترونات المفقودة والمكتسبة في تفاعل يحدث في التحليل الكهربائي للماء المالح؟ يفقد أيونان من الكلوريد ما مجموعه إلكترونان، ويكسب أيونان من الهيدروجين ما مجموعه إلكترونان.

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 21-7 لا ينتج الصوديوم عن التحليل الكهربائي لماء البحر؛ لأن جزيئات الماء لديها ميل للاختزال أكثر من الصوديوم.

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.

التحليل الكهربائي لماء البحر يتم تحليل ماء البحر – وهو محلول مائي لكلوريد الصوديوم – بواسطة التحليل الكهربائي أيضًا، ويوضح **الشكل 21-7** 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 الهيدروكسيد لا يحدث؛ بسبب أن تأكسد أيونات الكلوريد أسهل حدوثًا، لذلك يحدث تفاعل الأكسدة للأكسجين في جزيئات الماء. أما التفاعل الكلي للخلية فهو على النحو الآتي:

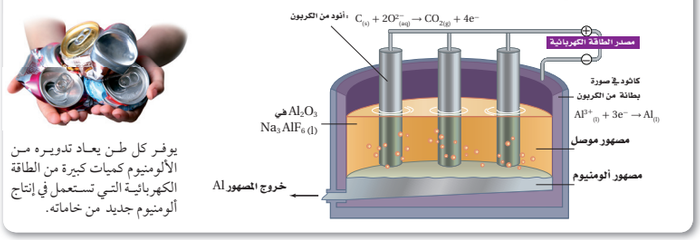
$$2H_2O_{(l)} + 2NaCl_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + Cl_{2(g)} + 2NaOH_{(aq)}$$

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 الكبر (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،

الشكل 22-7 تتم عملية هول – هيرولت 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.



يوفر كل طن يعاد تدويره من الألومنيوم كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية التي تستعمل في إنتاج ألومنيوم جديد من خاماته.

وهي موضحة في **الشكل 22–7**. يتم الحصول على فلز الألومنيوم في النموذج الحديث لطريقة هول– هيروليت 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 22–7**. 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– هيروليت 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 كهربائيًا من قبل، لذا فالطاقة الوحيدة اللازمة لجعله قابلاً للاستعمال هي الحرارة التي يتطلبها صهره في الفرن.

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.

$$Cu_2S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Cu_{(s)} + SO_{2(g)}$$

61

عرض سريع

التحليل الكهربائي ركّب الجهاز بطريقة تسمح بعرض الصورة. تشتمل المواد المطلوبة على طبق بتري أو دورق، وسلكين نحاسيين معزولين أطرافهما مكشوفة بمقدار 1 cm عند نهاية كل طرف، بطارية 9 فولت، 5 mL تقريبًا من محلول يوديد البوتاسيوم 0.1M. ثم أضف 5 mL من محلول النشا إلى محلول يوديد البوتاسيوم وبضع قطرات من الفينولفثالين، وحرك المحلول ولاحظ اللون. صل إحدى نهايتي السلكين بالبطارية، واغمس الطرفين الآخرين في المحلول، ودع التفاعل يستمر بضع دقائق، ثم لاحظ التغير في لون المحلول، وضع فرضية تفسر ما يدل عليه التغير في اللون. لقد تكوّن اليود على أحد الأقطاب كما هو واضح من تفاعله مع النشا لتكوين اللون الكحلي الغامق. في حين تكوّن الهيدروكسيد (قاعدة) على القطب الآخر كما يوضحه تغير الفينولفثالين إلى اللون الأحمر الوردي. اطلب إلى الطلاب كتابة نصفي التفاعل لعملية التحليل الكهربائي هذه. ض م

تطبيقات في الكيمياء

الطلاء أحد تطبيقات الكيمياء الكهربائية هو تصنيع المجوهرات عن طريق طلاء جسمٍ ما بفلز غالي الثمن. فالمجوهرات المطلية بالذهب أو الفضة تشبه المجوهرات المصنوعة من الذهب أو الفضة الخالصة. ولكن إذا خدشت طبقة الطلاء أو تشققت تآكل الفلز في الداخل وتغير لونه، فضلاً عن أن طبقة الذهب أو الفضة قد تكون مطلية بصورة غير متساوية، مما يؤثر في الشكل بصورة سيئة. وقد يطلي بعض فناني المجوهرات المعدن بأشياء من الطبيعة، منها ورق الشجر أو كوز الصنوبر.

3. التقويم

التحقق من الفهم

اسأل الطلاب: أي الفلزات الآتية أكثر نشاطًا، وأصعب استخلاصًا من خاماته: الفضة أو الذهب أو الحديد أو النحاس؟ الحديد.

إعادة التدريس

امنح الطلاب وقتًا كافيًا ليدركوا أن العديد من أمثلة هذا القسم مرتبط مع فصول سابقة مثل فصل التأكسد والاختزال وفصل أنواع التفاعلات.

التوسع

دع الطلاب يناقشوا لماذا تحتاج تفاعلات هذا القسم إلى الطاقة لكي تحدث. ودعهم أيضًا يناقشوا أهمية التفاعلات الكيميائية في هذا القسم، وكيف تؤثر هذه التفاعلات في حياتهم. يجب أن تُظهر إجابات الطلاب أن التفاعلات لا تحدث دون مصدر طاقة خارجي، أو لأنها تفاعلات غير تلقائية. وما كان للعديد من المنتجات الصناعية أن تصنع من غير معرفة هذه التفاعلات.

الشكل 23-7 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 كهربائيًا 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 23-7**، 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 3-7

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 1-7، وهل يجب أن يكون هذا الجهد موجبًا أو سالبًا؟

29. لخص اكتب فقرة تتعلق بكل هدف من الأهداف الثلاثة للبند 3-2 بلغتك الخاصة.

التقويم 3-7

22. التحليل الكهربائي هو عملية استعمال الطاقة الكهربائية في إنتاج تفاعل كيميائي، وهو عملية غير تلقائية.

23. يتضمن التحليل الكهربائي للمصهور الحصول على الصوديوم والكلور فقط، أما في حالة ماء البحر فهناك احتمالات للحصول على نواتج متعددة بحسب طبيعة الأملاح الموجودة في الماء، لكن أحد النواتج المشتركة هو محلول قاعدي من هيدروكسيد الصوديوم.

24. تتأكسد ذرات Cu إلى أيونات Cu^{2+}، ثم تختزل إلى ذرات Cu النقية وتترسب الشوائب بعيدًا.

25. تتطلب عملية هول-هيرولیت درجات حرارة عالية وكميات كبيرة من الكهرباء لفصل الألومنيوم من خامه، في حين تحتاج إعادة التدوير إلى الحرارة التي يتطلبها صهر الفلز فقط.

26. يتكون الأنود من قطعة من الذهب، ويتكون الكاثود من الجسم المراد طلاؤه.

27. أولاً، يحتوي كيلوجرام من الفضة على عدد من الذرات أقل مما يحويه كيلوجرام من الألومنيوم؛ لأن الكتلة المولية للفضة أكبر من الكتلة المولية للألومنيوم. ثانيًا، عملية اختزال الفضة أسهل من عملية اختزال الألومنيوم؛ لأن جهد اختزالها هو +0.7796 V، في حين أن جهد اختزال الألومنيوم هو - 1.662 V .

28. في خلية داون التفاعل غير تلقائي؛ لذا يجب أن يكون الجهد سالبًا.

29. يجب أن تلخص فقرات الطلاب الأفكار المهمة في القسم.

كيف تعمل الأشياء؟

الهدف

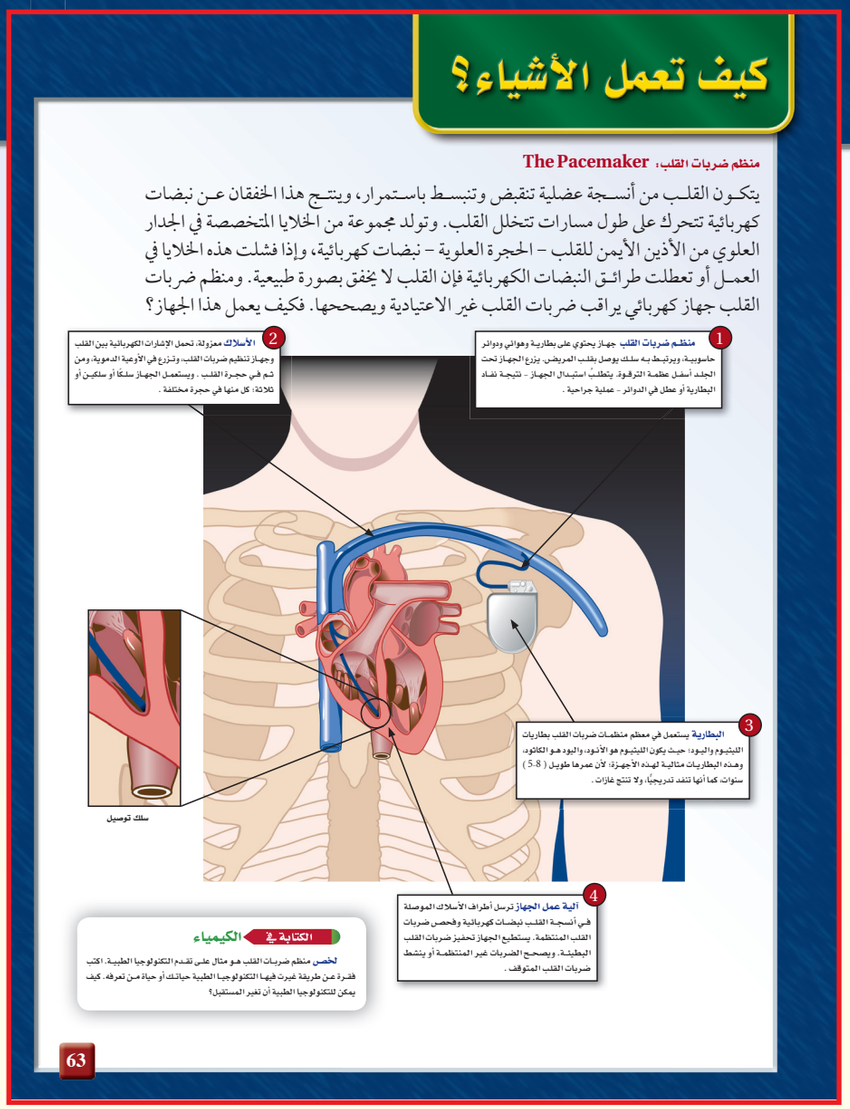
سيتعلم الطلاب كيفية عمل منظم ضربات القلب وغيره من الأجهزه في تنظيم آلية عمل القلب.

الخلفية النظرية للمحتوى

استعمل جهاز منظم ضربات القلب أول مرة في الخمسينات من القرن الماضي. وقد تطوّر من حيث الأداء والكفاءة، وأصبح أصغر حجمًا وأخف وزنًا. قد يخلط الطلاب بين جهاز منظم ضربات القلب الذي يعمل مع قلب المريض والفكرة الأكثر تعقيدًا للقلب الاصطناعي. ويمكن توضيح الاختلاف عن طريق المقارنة بين عمل جهاز التحكم في التلفاز عن بعد وجهاز التلفاز نفسه.

استراتيجيات التدريس

- يبين الرسم التوضيحي على هذه الصفحة موقع جهاز منظم ضربات القلب بالنسبة للقلب، حيث تربط الأقطاب مع القلب بواسطة خيوط عبر الوريد وتُغرس في جدار القلب.
- توضح الصورة المكبرة من الجهاز على نحوٍ تفصيلي ما يحدث في بطارية يوديد الليثيوم في الجهاز. فالليثيوم هو مانح الإلكترونات وينتج أيونات الليثيوم الموجبة في العملية. واليود يكتسب الإلكترونات، ويكوّن المركب المتعادل يوديد الليثيوم LiI.



الكتابة في الكيمياء

لخص جميعنا تقريبًا تعرضنا لتناول اللقاحات، وهي تقنية تؤثر في كيمياء الجسم. ومن التقنيات الشائعة التي نحملها معنا سماعات الأذن وحشوات الأسنان، والعدسات اللاصقة.

مختبر الكيمياء

قياس جهد الخلية الجلفانية

الزمن اللازم حصة واحدة

المهارات العلمية التحليل والاستنتاج، المقابلة، والمقارنة.

المواد البديلة يمكن استعمال الفولتمترات بدلاً من الأجهزة الأخرى المستخدمة لقياس الفرق في الجهد. أخبر الطلاب أي الفلزات هو الأنود وأيها هو الكاثود؛ لأن الجهد السالب قد يتلف بعض مقاييس فرق الجهد. أخبر الطلاب أن مدى الجهد لبعض الأجهزة ±10V.

احتياطات السلامة تحذير: لا تترك نترات البوتاسيوم قريبة من أي مصدر حراري؛ لأنها قد تنفجر وتؤدي إلى حريق خطر. وذكّر الطلاب بعدم استعمال مقاييس فرق الجهد على مخارج التيار المتردد. ولما كانت المحاليل المختبرية مهيجة للجلد فذكّر الطلاب أن يغسلوا أيديهم ومكان عملهم، وراجع معهم شروط سلامة استعمال المواد الخطرة قبل التجربة.

التخلص من النفايات اسكب المحاليل في المغسلة مع كميات كبيرة من الماء. وأعد استعمال الفلزات.

تحضير المحاليل

راجع طرائق تحضير المحاليل في مقدمة الدليل للفصل الدراسي الأول.

خطوات العمل

- لتركيب الخلايا ضع المحاليل المختلفة في الفجوات A1 و A2 و B1 و B2 من الصفيحة المجهرية، على أن توضع الفلزات مع الأيون المطابق. وصل الخلايا A1 مع A2 بالقنطرة الملحية (عبارة عن ورقة ترشيح مشبعة بمحلول نترات البوتاسيوم)، ثم انزع القنطرة الملحية بعد قياس فرق الجهد لهذه الخلية. واستخدم قنطرة ملحية جديدة لتوصيل الخلايا A1–B1 و A1–B2 و B1–B2 و A2–B1 و A2–B2
- **العيوب وإصلاحها** قد تعطي بعض الأجهزة قراءة وإن لم تكن الخلايا موصولة، ويعد هذا من الأمور الطبيعية.

التحليل و الاستنتاج

1. ارجع إلى مصادر الفصول 9–6.
2. ارجع إلى مصادر الفصول 9–6. .
3. ارجع إلى مصادر الفصول 9–6. .
4. من الصعب الحصول على الظروف المثالية لكل خلية لذا تكون نتائج بعض الخلايا أفضل من غيرها.

الاستقصاء

قد يقترح الطلاب تنظيف الأقطاب الفلزية باستعمال ورق الزجاج أو الصوف الزجاجي. لذا جفف الفلزات وتفحص أجزاء تلامسها بمقياس فرق الجهد. وقد يقترح الطلاب كذلك فحص مولارية المحاليل الموصلة للتيار.

مختبر الكيمياء

قياس جهد الخلية الجلفانية

الخلفية النظرية عند توصيل نصفي خلية يتنج 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 (0.6cm×1.3cm) 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

تحذير: للصوف حواف حادة قد تخترق الجلد؛ لذا استعمله بحذر.

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 الصفيحة المجهرية، 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 1–7**، 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.

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

استعمال المفردات

اطلب إلى الطلاب استعمال مفردات هذا الفصل في جمل، لتعزيز معرفتهم بها. ض م

استراتيجيات المراجعة

- اطلب إلى الطلاب العمل في مجموعات لتصميم لغز من الكلمات المتقاطعة باستعمال مفردات الفصل. ض م

تعلم تعاوني

- اطلب إلى الطلاب رسم خلية كهروكيميائية وعنونتها بالاسم المناسب.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته، ارجع إلى الموقع الإلكتروني: www.obeikaneducation.com وذلك من أجل:

- مراجعة الفصل ودراسته عبر الشبكة.
- الوصول إلى المواقع التي تزودك بمزيد من المعلومات والمشاريع والأنشطة.
- مراجعة المحتوى عبر الشبكة بالإضافة إلى التفاعل والاختبارات الذاتية.
- الحصول على اختبارات الفصل والتدريب على (الأنشطة) والاختبارات المقننة.

الفكرة العامة يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، كما يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

7-1 الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسة تحدث الأكسدة في الخلايا الجلفانية عند الأنود منتجةً إلكترونات تتدفق نحو الكاثود، 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.
- الجهد القياسي لنصف خلية التفاعل هو جهد التيار الناتج عند اقترانها بقطب الهيدروجين القياسي تحت الظروف القياسية.
- يكون جهد اختزال نصف خلية سالبًا إذا حدث لها تأكسد 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:

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$$

7-2 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.

7-3 التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسة يؤدي وجود مصدر تيار كهربائي في التحليل الكهربائي إلى حدوث 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.

الفصل 7

7–1

إتقان المفاهيم

30. انتقال الإلكترونات بين الذرات.

31. تأكسد الخارصين من Zn إلى $Zn^{2+} + 2e^-$.

32. تكمل القنطرة الملحية الخلية وتمنع تكدس الشحنات الموجبة والسالبة في أنصاف الخلايا.

33. معرفة جهد الاختزال القياسي لقطبي الخلية.

34. يتأكسد Al و يختزل Cu.

35. 1atm، 25°C و 1M للمحاليل الأيونية.

36. يتأكسد الخارصين، والنحاس هو الكاثود.

37. تسمح حركة الأيونات في القنطرة الملحية للتيار بالتدفق وإن لم تكن المتفاعلات على اتصال مباشر معًا. تحمل الأيونات التيار الكهربائي وتمنع تكدس الشحنات الموجبة على الأنود والشحنات السالبة على الكاثود.

38. MnO_4^- , Au^+ , H_2O_2

إتقان حل المسائل

39. a. $Zn|Zn^{2+}||H^+|H_2$.

b. $H_2|H^+ || Hg^{2+}| Hg$

c. $H_2| H^+||Cu^{2+}|Cu$

d. $Al|Al^{3+}|| H^+|H_2$

40. a. $2I^- + 2Fe^{3+} \rightarrow I_2 + 2Fe^{2+}$

b. $Sn + 2Ag^+ \rightarrow Sn^{2+} + 2Ag$

c. $Zn + Cd^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cd$

41. a. الأنود هو الخارصين.

b. الكاثود هو الفضة.

c. يحدث التأكسد عند قطب الخارصين.

d. يحدث الاختزال عند قطب الفضة.

e. يتدفق التيار من قطب الخارصين إلى قطب الفضة

f. تتدفق الشحنات الموجبة من نصف خلية الأنود إلى نصف خلية الكاثود.

g. $E^0 = +1.5614\ V$

7-1

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.

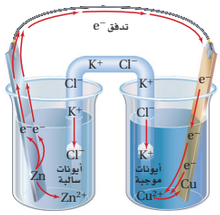
32. ما وظيفة القنطرة الملحية في الخلية الجلفانية؟

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 7–24

36. حدّد كلًّا من الفلز الذي تأكسد والكاثود في **الشكل 7–24**.

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 7–1** لاختيار العامل المؤكسد الذي سيحوّل Au إلى Au^{3+} ولا يحول Co^{2+} إلى Co^{3+}.

إتقان حل المسائل

39. استعمل الجدول 7–1 في كتابة رمز الخلية القياسية لكل نصف خلية مما يأتي وموصلة بقطب الهيدروجين القياسي.

a. $Zn|Zn^{2+}_{(1M)}$ c. $Cu|Cu^{2+}_{(1M)}$

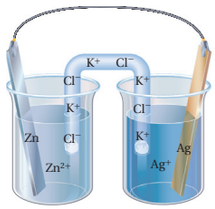
b. $Hg|Hg^{2+}_{(1M)}$ d. $Al|Al^{3+}_{(1M)}$

40. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل ترميز يمثل الخلايا القياسية الآتية:

a. $I^-|I_{2(1M)}||Fe^{3+}_{(1M)}|Fe^{2+}$

b. $Sn|Sn^{2+}_{(1M)}||Ag^+_{(1M)}|Ag$

c. $Zn|Zn^{2+}_{(1M)}||Cd^{2+}_{(1M)}|Cd$



الشكل 7–25

41. يوضح **الشكل 7–25** 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 1–2 في الإجابة عن الأسئلة الآتية:

a. حدّد الأنود.

b. حدّد الكاثود.

c. أين تحدث الأكسدة؟

e. أين يحدث الاختزال؟

f. ما اتجاه مرور التيار خلال أسلاك التوصيل؟

g. ما اتجاه مرور الأيونات الموجبة خلال القنطرة الملحية؟

h. ما جهد الخلية عند 25°C و 1 atm؟

تقويم الفصل 7

42. بالرجوع إلى الجدول 1–7، 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. $I_{2(aq)} + Sn_{(s)} \rightarrow 2I^{-}_{(aq)} + Sn^{2+}_{(aq)}$

7-2

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:

$NAD^{+} + H^{+} + 2e^{-} \rightarrow NADH \; E^{0} = -0.320\ V$

$[Fe(CN)_6]^{3-} + 1e^{-} \rightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} E^{0} = +0.36\ V$

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؟

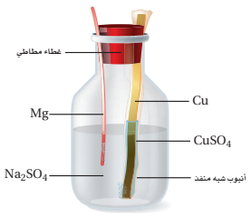
إتقان حل المسائل

52. فيما يأتي أنصاف تفاعل بطاريات تخزين المراكم الرصاصية:

$PbO_{2(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} + 4H_3O^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow PbSO_{4(s)} + 6H_2O_{(l)} \quad E^{0} = +1.685V$

$PbSO_{4(s)} + 2e^{-} \rightarrow Pb_{(s)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)} \; E^{0} = -0.356V$

ما جهد الخلية القياسي لخلية واحدة في بطارية السيارة؟



الشكل 26–7

53. التركيب في **الشكل 26–7** 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.

إتقان حل المسائل

52. جهد الخلية = 2.041 V +

53. a. يختزل النحاس

$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$

b. يتأكسد الماغنسيوم

$Mg_{(s)} \rightarrow Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$

c. سلك الماغنسيوم

d. قطعة النحاس

e. $E^{0}_{cell} = +2.714V$

42. +0.9258 V.a

+0.928 V.b

+0.673 V.c

7–2 إتقان المفاهيم

43. الأنود هو طبقة الخارصين حيث تتأكسد ذرات Zn إلى أيونات Zn^{2+}.

44. يتم التخلص من البطاريات الأولية؛ إذ يصعب عكس التفاعل، في حين يعاد شحن البطاريات الثانوية حيث يمكن عكس التفاعل.

45. يختزل PbO_2 ويتأكسد $Pb_{(s)}$ وينتج $PbSO_4$ وماء

46. $E^{0}_{cell} = 0.68V$

47. يستخدم تأكسد الوقود في خلية الوقود لإنتاج الكهرباء. يجب استبدال البطارية أو إعادة شحنها. يمكن إنتاج التيار والحفاظ على استمراره ما دام مصدر الوقود مستمرًّا.

48. الجلفنة هي تغطية الفلزات المعرضة للتآكل بفلزات الحماية الذاتية لمنع التآكل. تعمل الجلفنة على الحفاظ على الفلز الموجود أسفلها عن طريق منع الرطوبة والهواء من الاتصال معه. وعند تلف طبقة الجلفنة تستطيع الاستمرار في حماية الفلز عن طريق العمل كأنود أضحية ويتأكسد بنفسه.

49. يُسهم حمض الكبريتيك في التفاعل، وعند انخفاض تركيزه يتوقف التفاعل.

50. الفقرة c .

51. الجلفنة، الطلاء، الأنود المضحي.

54. الأنود $Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$

الكاثود $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

جهد الخلية $= +0.4794V$

7–3

إتقان المفاهيم

55. يتم ذلك عن طريق تمرير تيار كهربائي من خلال الخلية في الاتجاه المعاكس.

56. عند الأنود.

57. تختزل أيونات Na^+ إلى ذرات Na.

58. نواتج التحليل الكهربائي للماء المالح: غاز الهيدروجين وغاز الكلور وهيدروكسيد الصوديوم، وهي نواتج مهمة تجاريًّا.

59. لانها تتطلب طاقة أقل مقارنة مع الطاقة اللازمة لاستخلاصه من خاماته الأصلية.

60. تختزل أيونات البوتاسيوم عند الكاثود إلى ذرات البوتاسيوم، وتتأكسد أيونات اليوديد عند الأنود إلى جزيئات I_2.

61. يحدث التأكسد عند الأنود وهو قطب Cu. وتتحرك الإلكترونات منه إلى الطرف الموجب للبطارية.

62. a. يزداد حجم قطب الخارصين $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$.

b. يقل حجم قطب النحاس $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$.

63. تنجذب أيونات النحاس إلى الكاثود وتترسب عليه وتغطيه.

مراجعة عامة

64. في الخلية الجلفانية، تكتسب الأيونات في المحلول عند الكاثود الإلكترونات بسهولة أكبر من الأيونات عند الأنود، وعند وضع القنطرة الملحية والأسلاك في أماكنها يحدث تفاعل التأكسد والاختزال التلقائي وتتدفق الإلكترونات من الأنود إلى الكاثود.

65. أكسيد الألومنيوم Al_2O_3.

66. التأكسد $Cr_{(s)} \rightarrow Cr^{3+}_{(aq)} + 3e^-$

الاختزال $Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

تتدفق الإلكترونات من الأنود (Cr) إلى الكاثود (Ag).

67. a. غير تلقائي

b. غير تلقائي

c. تلقائي

d. غير تلقائي

68. a. $E^0_{cell} = +2.647\ V$

تقويم الفصل 7

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؟

7-3

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؟

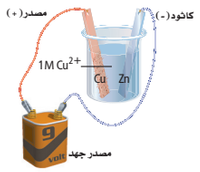
58. صناعة فسّر لماذا يستعمل التحليل الكهربائي لماء البحر في جميع أرجاء العالم بكميات كبيرة؟

59. إعادة تدوير فسّر كيف تحفظ عملية إعادة تدوير الألومنيوم الطاقة؟

60. صف ماذا يحدث عند الأنود والكاثود في التحليل الكهربائي لمحلول KI؟

الشكل 27-7

61. الطلاء بالكهرباء يوضح الشكل 27-7 مفتاحًا يُطلى كهربائيًّا بالنحاس في خلية تحليل كهربائي. فأين تحدث الأكسدة؟ فسر إجابتك.



الشكل 28-7

62. اعتمادًا على الشكل 28-7، 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 28-7، 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. $Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cu^+_{(aq)} \rightarrow Pb_{(s)} + 2Cu^{2+}_{(aq)}$

تقويم الفصل 7

68. حدّد جهد الخلية المتكونة من كل نصف خلية مما يأتي مرتبطة مع نصف خلية $Ag|Ag^+$:

a. $Be^{2+}_{(IM)} \mid Be$ **c.** $Au^+_{(IM)} \mid Au$

b. $S \mid S^{2-}_{(IM)}$ **d.** $I_2 \mid I^-_{(IM)}$

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.

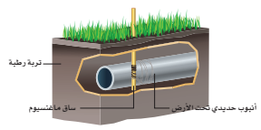
a. ما التفاعل الذي يحدث عند الأنود والكاثود؟

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 بطاريات التخزين، فما الذي يخزن في هذه البطاريات؟



الشكل 29–7

74. منع التآكل يوضح **الشكل 29–7** 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

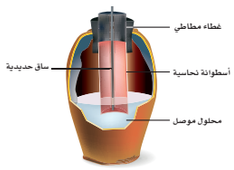
75. التوقع افترض أن العلماء قد اختاروا نصف خلية $Cu^{2+}_{(IM)}|Cu$ على أنها خلية قياسية بدلاً من نصف الخلية $H^+_{(IM)}|H_2$، فما مقدار جهد قطب الهيدروجين إذا كان قطب النحاس هو القطب القياسي؟ وكيف يمكن أن تتغير العلاقات بين جهود الاختزال القياسية؟

76. طبق افترض أن لديك خلية جلفانية يتكون أحد أنصافها من قطعة من القصدير مغمورة 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 30–7

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 30–7**. 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.

77. الضغط دلالة على التركيز، لذا يُعد الضغط من عوامل التركيز في أنصاف الخلايا التي تحتوي على غازات.

78. a. أسطوانة النحاس $E^0 = +0.3419V$

b. قضيب الحديد $E^0 = -0.447$

c. جهد الخلية $= +0.789\ V$

$E^0_{cell} = +1.2759\ V$ .b

$E^0_{cell} = +0.892\ V$ .c

$E^0_{cell} = +0.2641\ V$ .d

69. لأن ذرات Fe تتأكسد إلى Fe^{2+} في المحلول المائي. ثم تتأكسد هذه الأيونات مرة أخرى إلى أيونات Fe^{3+} التي تتحد مع O_2 المختزل لإنتاج الصدأ Fe_2O_3.

70. a. الأنود $2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$

الكاثود $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

b. جهد الخلية $= +1.229V$

71. يتم التحكم في تأكسد الهيدروجين في خلية الوقود حيث تتحول معظم الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بدلاً من طاقة حرارية.

72. يحدد اتجاه التيار في الخلية أن النحاس غير النقي سيكوّن الأنود.

73. طاقة الوضع الكيميائية.

74. a. الكاثود هو الفولاذ، والأنود هو Mg.

b. Mg أكثر نشاطًا؛ لذا فهو أكثر عرضة لتفاعل التأكسد وهو ما يسبب تآكل الماغنسيوم قبل الفولاذ.

التفكير الناقد

75. ستتغير قيم جدول جهود الاختزال القياسية بمقدار 0.342، وسيصبح جهد قطب الهيدروجين 0.342 –. ولكن تبقى العلاقات دون أن تتغير، إلا أن قيم الجهود ستتغير.

76. a. يوضح مقياس فرق الجهد تدفق الإلكترونات من قطعة القصدير أو إليها. لذا يمكن معرفة ما إذا كانت القطعة تمثل الكاثود أو الأنود. بتأكسد القصدير إذا كان الجهد موجبًا.

b. توضح الترسبات الملحوظة عند الكاثود اختزال Sn^{2+}. وإذا تأكسد Sn عند الأنود فسينقص حجم القطعة.

تقويم الفصل 7

79. بروميد البوتاسيوم والماء.

80. إذا تصدع النحاس تصبح هذه الأماكن معرضة للتآكل. لا؛ لأن الحديد يتأكسد بسهولة أكثر من النحاس، لذا تتضاءل الحماية.

مسألة تحفيز

81. a. $Hg^{2+} + Sn \rightarrow Sn^{2+} + Hg$

b. يختزل الزئبق ويتأكسد القصدير. العامل المؤكسد هو الزئبق، والعامل المختزل هو القصدير.

c. $Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$ يحدث عند الأنود.

$Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$ يحدث عند الكاثود.

d. جهد الخلية = 0.989 V +

e. تتحرك أيونات الكبريتات في اتجاه نصف خلية القصدير.

مراجعة تراكمية

82. لأن الحرارة النوعية للكرسي المصنوع من الألومنيوم أعلى منها للخشب.

83. أن التفاعل تلقائي.

84. قد لا تتصادم الجزيئات بالاتجاه الصحيح، أو لا يتضمَّن التصادم الطاقة الكافية لتكوين المعقَّد المنشَّط.

85. طبيعة المواد المتفاعلة، ومساحة السطح، ودرجة الحرارة، والتركيز، والعوامل المحفِّزة.

86. $K_{eq} = 5.02\ mol^2/L^2$

87. $9.2 \times 10^{-9}\ mol/L$

88. ليس بالضرورة، فالحمض القوي يتفكك كليًّا، وقد يكون مخففًا أو مركـزًا، ويعتمد ذلك على عدد مولات الحمض في المحلول.

89. للأكسجين= 2−، وبذلك تكون للفوسفور:

$(+8) + (-3) = +5$

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 1–7**.

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°C، 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-}؟

تقويم إضافي

90. الكتابة في الكيمياء **السفن الغارقة** كشفت دراسة سفينة التيتانك الغارقة في المحيط مجالاً لاحتمال أن سبب تلف الهيكل الحديدي يعود جزئيًا 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 2-7** 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 2-7

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 البيروفيك)

** $HOOCCHOHCH_3$ (حمض اللاكتيك)

92. اكتب نصفي التفاعل اللذين يحدثان في هذا التفاعل.

93. احسب جهد الخلية لهذا التفاعل باستعمال **الجدولين 1-7 و 2-7**.

94. هل يستطيع NAD^+ أكسدة Fe^{2+} إلى Fe^{3+}؟ فسّر إجابتك.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

90. قد تنص ورقة الطالب على أن المجتمع الحيوي الملائم للصدأ قد يحتوي على مركبات الحديد بنسبة 35% .

91. ينتج أخطر أنواع التآكل عن خلية كهروكيميائية تحدث طبيعيًّا ويتضمن هيكلاً حديديًّا داخليًّا يدعم الغلاف النحاسي.

أسئلة المستندات

92. $NADH \rightarrow NAD^+ + H^+ + 2e^-$

$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

93. جهد الخلية = +1.549 V

94. لا، جهد اختزال NAD^+ = −0.320 V.

جهد الخلية = 1.091V، لأنه تفاعل غير تلقائي.

اختبار مقنن

اسئلة الاختيار من متعدد

1. b

2. b

3. b

4. a

5. c

6. a

7. c

8. a

اختبار مقنن

اسئلة 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 Na Cl؟

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

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°C و 1atm 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.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. القطب الموجب: النحاس، القطب السالب: الخارصين.

10. $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

11. إكمال الدائرة الكهربائية، ونقل الأيونات.

أسئلة الاجابات المفتوحة

12. جهد تفاعل الفضة الاختزالي القياسي موجب، في حين يكون جهد الكروم الاختزالي القياسي سالبًا أكثر. لأي قطبين، يعمل القطب الذي له أقل جهد اختزال قياسي في الاتجاه العكسي كما هو موضح في الجدول. في هذه الحالة هو الكروم؛ لأنه سوف يفقد إلكترونات ويتأكسد. أما القطب الذي له أكبر جهد اختزال قياسي فسيختزل، وفي هذه الحالة سيكون قطب الفضة.