القسم 3 : التحليل الكهربائي (الخلايا التحليلية)

التحليل الكهربائي : استعمال الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعلات كيميائية .

اسم الخلية المستخدمة لهذا الغرض : خلية التحليل الكهربائي .

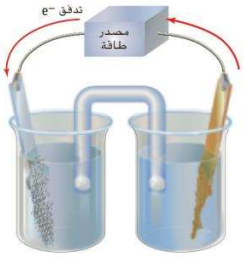
ملاحظة : البطاريات الثانوية تعمل خلايا تحليلة (الكتروليتية)عند شحنها عن طريق تمرير تيار كهربائي من خلالها في الاتجاه المعاكس .

خلية فولتية

في هذه الخلية الفولتية، يعمل تأكسد الخارصين على توفير الإلكترونات للمصباح الكهربائي واختزال أيونات النحاس. يستمر التفاعل التلقائي حتى يستهلك الخارصين.

■ **الشكل 19** يمكن لخلية الخارصين – نحاس الكهروكيميائية أن تكون خلية فولتية أو خلية تحليل كهربائي.

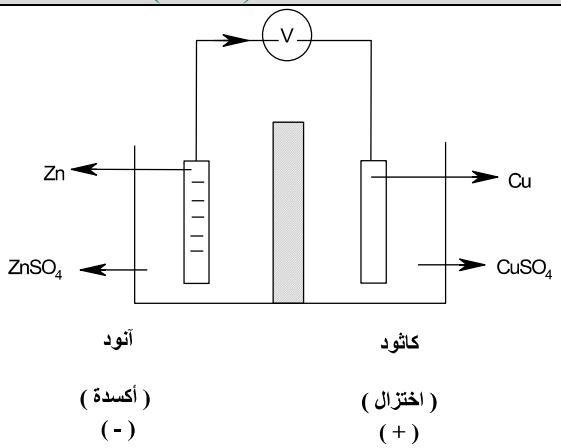
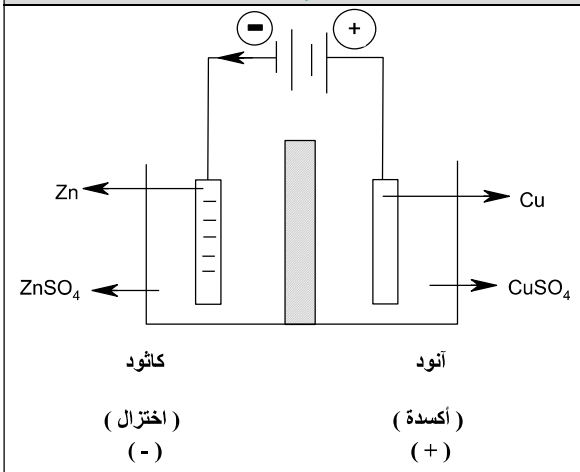
استدل في كل خلية كهروكيميائية ما الفلز الذي يتأكسد؟ وما الفلز الذي يُختزل؟



خلية كهربائية

عند استخدام مصدر طاقة خارجي، يتم عكس تدفق الإلكترونات ويحدث التفاعل غير التلقائي الذي يستعيد الوضع الأصلي للخلية.

س : ما الفرق بين الخلايا الجلفانية (الفولتية) والخلايا (التحليلية)الإلكتروليتية

وجه المقارنة	الخلايا الجلفانية (الفولتية)	الخلايا الإلكتروليتية
الرسم		
نوع التفاعل	أكسدة ـ اختزال	أكسدة ـ اختزال
كيفية حدوث التفاعل	تلقائي (طاقة كيميائية ← طاقة كهربائية)	غير تلقائي (طاقة كهربائية ← طاقة كيميائية)
الأنود	⊖ (أكسدة) $Zn_{(s)} \rightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	⊕ (أكسدة) $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$
الكاثود	⊕ (اختزال) $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Cu_{(s)}$	⊖ (اختزال) $Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Zn_{(s)}$
كتلة الآنود	تقل	تقل
كتلة الكاثود	تزداد	تزداد

س : أي تفاعل يحدث عند الكاثود في عملية تحليل كهربي ؟

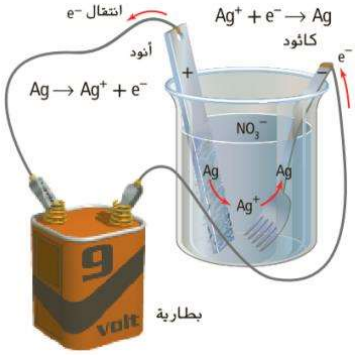
الإجابة : عند الكاثود يحدث تفاعل اختزال سواء في خلية تحليل كهربي أو خلية فولتية

س : العملية التي يتم فيها إمرار تيار كهربائي لأحداث تغير كيميائي :

أ ــ التأكل ب ــ التأين ج ــ التحلل المائي د ــ التحليل الكهربائي

استنتاج : يمكن تجديد الخلية الفولتية ،بتزويدها بتيار في الاتجاه المعاكس ، فتعود البطارية لقوتها الأصلية تقريباً

6 - الطلاء بالكهرباء :



الشكل 23 يجب توفير طاقة لتأكسد الفضة عند الأنود واختزال الفضة عند الكاثود. في خلية التحليل الكهربائي التي تستخدم للطلاء بالفضة، يكون الجسم المراد طلاؤه هو الكاثود حيث تختزل أيونات الفضة في محلول الإلكتروليت إلى فلز الفضة ويطلى بها الجسم المراد طلاؤه.

مثال : طلاء فلز ما بطبقة من الفضة .

الآنود : **قطعة فضة نقية** (يتم انتزاع منها وتتحول لأيونات فضة في المحلول : $Ag_{(s)} \rightarrow Ag^+_{(aq)} + e^-$

الكاثود : **الجسم المراد طلاؤه** : ويحدث على سطحه اختزال أيونات الفضة في صورة ذرات (طبقة رقيقة من الفضة) $Ag^+_{(aq)} + e^- \rightarrow Ag_{(s)}$

ملاحظة :

1 - يتم مراقبة شدة التيار المار في الخلية ، والتحكم فيها للحصول على طبقة تغليف فلزية وناعمة ومتساوية

2 - تُطلى بعض أجزاء السيارة مثل ماصات الصدمات بفلزات أكثر مقاومة للتآكل(حيث تُطلى بالنيكل أولاً ثم الكروم)

س1 : **تم طلاء ملعقة من النحاس بالفضة ، أي من التفاعلات التالية يحدث عند الكاثود أثناء الطلاء ؟** ب

أ – $Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$ ب - $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$ ج – $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ د - $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

س2 : **ارسم خلية تحليل كهربائي المستخدمة في طلاء خاتم من الحديد بالذهب ، كن متأكد احتواء الرسم على كل الأجزاء الضرورية**

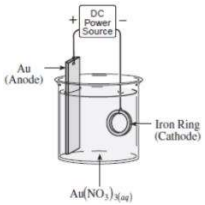
س3 : **تم طلاء كأس بطبقة من الذهب كما بالشكل المرفق :**

أ – أكتب نصف معادلة التفاعل الحادثة عند الكأس

ب – ما اسم المحلول المستخدم في عملية الطلاء

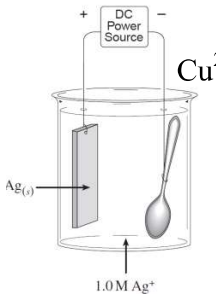
ج – وضح الآنود والكاثود

د – فسر : يظل تركيز أيونات المحلول ثابتة على الرغم من استهلاكها في عملية الطلاء .



س 4 : **تم طلاء ملعقة بالفضة في خلية تحليلية كما بالشكل ما هو تفاعل الآنود ؟** A

أ – $Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$ ب - $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$ ج – $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$ د - $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$



س5 : **لا يمكن طلاء جسم بالمغنسيوم مستخدماً $1.0M\ MgI_2$ لأن :** د

أ – الماء عامل مختزل أقوى من I^- ج - الماء عامل مختزل أقوى من Mg^{2+}

ب - الماء عامل مؤكسد أقوى من I^- د - الماء عامل مؤكسد أقوى من Mg^{2+}

س4 : **أي من الحالات التالية تتضمن تفاعلات (أكسدة – اختزال)غير تلقائية** أ

I - التحليل الكهربائي للماء

II - الطلاء بالنحاس

III - تآكل الحديد

أ - I و II فقط ب - I و III فقط ج - II و III فقط د - I و II و III فقط

س *** : عند طلاء قطب من الخارصين بالنحاس ، فإنه يتم وضع قطب الخارصين في محلول يحتوي على Cu^{2+} .
وضّح لماذا يُفضل تشغيل الدائرة الكهربية قبل غمس قطب الخارصين في المحلول .

33.

Solution:

For Example:

If you did not turn on the power supply before immersing the electrodes in the solution, the Cu^{2+} would react spontaneously with the zinc to be plated, oxidizing the zinc. ← 1 mark

القسم 3 مراجعة

ملخص القسم

- في الخلية الإلكتروليتية، يتسبب مصدر الطاقة الخارجي في تفاعل أكسدة واختزال غير تلقائي.
- ينتج عن التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المصهور فلز الصوديوم وغاز الكلور. ينتج عن التحليل الكهربائي لمحلول ملحي (كلوريد الصوديوم) غاز الهيدروجين وهيدروكسيد صوديوم وغاز الكلور.
- يتم تنقية بعض الفلزات مثل النحاس في خلية إلكتروليتية.
- يستخدم التحليل الكهربائي لطلاء الأجسام كهربائيًا وإنتاج ألمنيوم نقي من الخام الخاص به.

22. الفكرة **الرئيسة عرف** التحليل الكهربائي واربط التعريف بتلقائية تفاعلات الأكسدة والاختزال.
23. **فسر** سبب اختلاف نواتج التحليل الكهربائي لكل من محلول كلوريد الصوديوم(الملحي) ومصهور كلوريد الصوديوم.
24. **صِف** كيف يتم تنقية النحاس غير النقي الذي تم الحصول عليه من صهر الخام عن طريق التحليل الكهربائي.
25. **فسر** بالإشارة إلى عملية هول- هيرولت سبب أهمية إعادة تدوير الألمنيوم.
26. **صف** الأنود والكاثود بخلية تحليل كهربائي يتم فيها طلاء جسم ما بالذهب.
27. **فسر** لماذا إنتاج كيلو جرام واحد من الفضة من أيوناتها عن طريق التحليل الكهربائي يحتاج إلى طاقة كهربائية قليلة جدًا مقارنة مع الطاقة المطلوبة لإنتاج كيلوجرام واحد من الألمنيوم من أيوناته.
28. **احسب** استخدم **الجدول 1** لحساب جهد خلية داون. هل سيكون الجهد موجبًا أم سالبًا؟
29. **لخص** اكتب فقرة قصيرة للإجابة عن كل سؤال من الأسئلة الرئيسة الثلاثة بالقسم 3 بكلمات من عندك.

القسم 3 مراجعة

22. التحليل الكهربائي هو عملية استخدام الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل كيميائي. عملية التحليل الكهربائي ليست تلقائية.
23. يشتمل التحليل الكهربائي للمحلول الملحي على محلول مائي مما يؤثر على النواتج.
24. تتأكسد ذرات النحاس (Cu) إلى Cu^{2+} ثم تختزل تلقائيًا إلى ذرات النحاس الخالصة (Cu) وتزول الشوائب.
25. تتطلب عملية هول هيرولت في تصنيع الألمنيوم (Hall–Héroult) درجات حرارة عالية وكمية هائلة من الكهرباء لفصل الألمنيوم عن خامه. تتطلب إعادة التدوير الحرارة اللازمة لصهر الفلز فقط.
26. الأنود هو سبيكة من الذهب؛ والكاثود هو المادة التي سيتم طلاؤها.
27. أولًا، يحتوي الكيلو جرام من الفضة على عدد أقل بكثير من الذرات منها في كيلو جرام من الألمنيوم لأن الكتلة المولية للفضة أكبر. ثانيًا، اختزال الفضة أكثر سهولة. جهد اختزال الفضة +0.7996 V وجهد اختزال الألمنيوم −1.662 V.
28. خلية داونز للتحليل الكهربائي هي تفاعل غير تلقائي ولذلك يجب أن يكون الجهد سالبًا. $E^0_{\text{خلية}} = -4.07\ V$
29. يجب أن تلخص موضوعات الطلاب الأفكار المهمة في هذا القسم.

القسم 3

إتقان المفاهيم

55. كيف يمكن عكس تفاعل الأكسدة والاختزال التلقائي للخلية الفولتية؟

56. أين تحدث الأكسدة في التحليل الكهربائي؟

57. **خلية داون** ما التفاعل الذي يحدث عند الكاثود عند التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المنصهر؟

58. **الصناعة** فسر سبب استعمال التحليل الكهربائي للمحلول الملحي على نطاق واسع في عدة مواقع حول العالم.

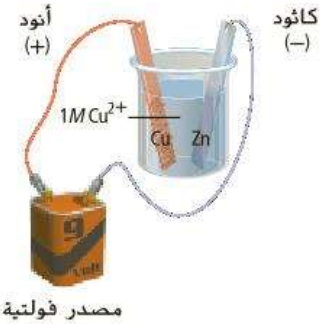
59. **إعادة التدوير** فسر كيفية محافظة عملية إعادة تدوير الألمنيوم على الطاقة.

60. صف ما يحدث عند الأنود والكاثود عند التحليل الكهربائي لـ KI(aq).

إتقان حل المسائل

■ الشكل 27

61. **الطلاء الكهربائي** يوضح **الشكل 27** صورة مفتاح يتم طلاؤه كهربائيًا بالنحاس في خلية تحليل كهربائي. أين تحدث الأكسدة؟ فسر إجابتك.



■ الشكل 28

62. أجب على الأسئلة التالية استنادًا على **الشكل 28**.
   a. ما القطب الذي تزداد كتلته؟ اكتب التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.
   b. ما القطب الذي تقل كتلته؟ اكتب التفاعل الذي يحدث عند هذا القطب.

63. باستخدام **الشكل 28** وضح ما يحدث لأيونات النحاس في المحلول.

القسم 3

إتقان المفاهيم

55. من خلال تمرير التيار في الخلية الفولتية بالاتجاه المعاكس
56. عند الأنود.
57. Na^+ تُختزل إلى ذرات صوديوم.
58. لأن نواتج التحليل الكهربائي وغاز الهيدروجين وغاز الكلور وهيدروكسيد الصوديوم تُعتبر نواتج تجارية مهمة.
59. لأنه في عملية اعادة التدوير لا تستهلك طاقة كبيرة ، حيث أن الألمنيوم تم استخلاصه من خاماته فنحتاج فقط إلى صهر الألمنيوم.
60. عند الكاثود، تُختزل أيونات البوتاسيوم إلى ذرات البوتاسيوم؛ وعند الأنود، تتأكسد أيونات اليوديد إلى جزيئات من I_2.

إتقان حل المسائل

61. تحدث الأكسدة عند القطب الموجب وهو إلكترود النحاس Cu. تنتقل الإلكترونات منه إلى قطب البطارية الموجب.
62. a. يزداد إلكترود الخارصين؛ $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$.
    b. يختفي إلكترود النحاس؛ $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$.
63. تهاجر أيونات النحاس إلى القطب السالب وتغطيه.

69. تتأكسد ذرات الحديد Fe إلى أيونات Fe^{2+} في المحلول المائي. ثم، يشمل جزء من عملية تكون التآكل انتشار أيونات الحديد Fe^{2+} في الماء والتفاعل مع الأكسجين O_2.

70. a. الأنود:
$2H_2 + 4OH^- \rightarrow 4H_2O + 4e^-$
الكاثود:
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
b. جهد الخلية = +1.229 V

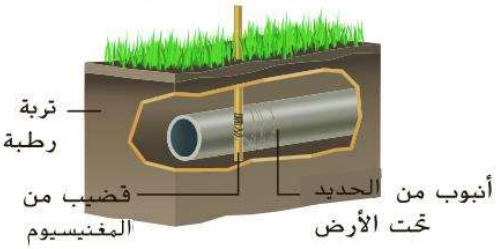
69. **التآكل** فسّر لماذا يعتبر الماء ضروريًا لحدوث صدأ الحديد.

70. **السفر إلى الفضاء** يستخدم المكوك الفضائي خلية وقود H_2/O_2 لإنتاج الكهرباء.
   a. ما التفاعل الذي يحدث عند الأنود والكاثود؟
   b. ما الجهد القياسي لخلية الوقود؟

71. **خلايا الوقود** فسر كيفية اختلاف أكسدة الهيدروجين في خلية الوقود عن أكسدته عند احتراقه في الهواء.

72. **تنقية النحاس** ما العامل الذي يحدد الأنود والكاثود في النحاس عند استخدام التحليل الكهربائي لتنقية النحاس من الشوائب؟

73. **بطاريات التخزين** يُطلق على بطاريات الرصاص الحمضية وغيرها من البطاريات القابلة لإعادة الشحن أحيانًا بطاريات التخزين. ما الذي يتم تخزينه في هذه البطاريات؟



■ **الشكل 29**

74. **منع الصدأ** يوضح **الشكل 29** كيفية حماية أنابيب الحديد المدفونة من الصدأ. يتم توصيل أنابيب الحديد بفلز آخر أكثر نشاطًا والذي يصدأ بدلاً من الحديد.
   a. ما هو الكاثود وما هو الأنود؟
   b. صف كيف يحمي فلز المغنيسيوم أنابيب الحديد.

71. في خلية الوقود، يتم التحكم في أكسدة الهيدروجين بحيث يتم تحويل معظم الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية بدلاً من الحرارة.
72. الاتجاه الذي يأخذه التيار خلال الخلية يحدد أن النحاس غير النقي سيكون الأنود.
73. طاقة الوضع الكيميائية.
74. **a.** الكاثود هو الحديد؛ الأنود هو المغنيسيوم Mg
   b. المغنيسيوم Mg أكثر نشاطًا ولذلك فهو أكثر عرضةً للتأكسد مما يتسبب في صدأ المغنيسيوم قبل الحديد.

التفكير الناقد

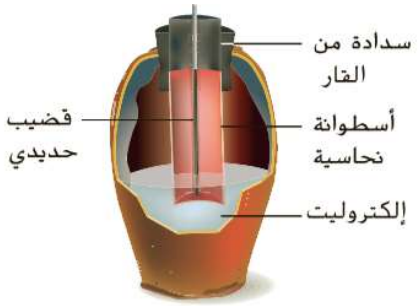
75. **تنبأ** افترض أن العلماء قد اختارو نصف خلية $Cu^{2+} \mid Cu$ بدلاً من $H^+ \mid H_2$ كخلية قياسية. كم سيصبح جهد قطب الهيدروجين إذا كان قطب النحاس هو القطب القياسي؟ كيف ستتغير العلاقات بين جهود الاختزال القياسية؟

76. **التطبيق** افترض أن لديك خلية فولتية يتكون نصفها من شريط من القصدير المغموس في محلول من أيونات القصدير (II).
   a. هل يمكنك تحديد إذا ما كان شريط القصدير هو الأنود أم الكاثود في هذه الخلية عن طريق قياس الجهد؟
   b. هل يمكنك تحديد إذا ما كان شريط القصدير هو الأنود أم الكاثود في هذه الخلية بمجرد الملاحظة البسيطة؟

77. **ضع فرضية** يختلف جهد الخلية النصفية تبعًا لتركيز المواد المتفاعلة والناتجة؛ لهذا السبب، يتم قياس الجهود القياسية عند تركيز 1 *M*. يعتبر الحفاظ على الضغط عند مستوى 1 atm أمرًا هامًا في الخلايا النصفية التي تحتوي على غازات سواء كانت مواد متفاعلة أو نواتج. اقترح سببًا لأهمية ضغط الغاز في هذه الخلايا.

التفكير الناقد

75. ستتغير القيم في جدول جهود الاختزال القياسية بمقدار 0.3419 V بحيث يصبح جهد قطب الهيدروجين 0 V – لا تتغير العلاقات ولكن قيم جهود الاختزال هي التي تتغير.
76. **a.** يشير الفولتميتر إلى تدفق الإلكترونات من أو إلى شريحة القصدير، ما يظهر أي من الشرائح تعمل كأنود أو كاثود. إذا كان جهد التيار الكهربائي موجبًا، يتأكسد القصدير.
   b. يشير الترسب الواضح عند الكاثود يشير إلى اختزال القصدير Sn^{2+}. سيشير النقص في حجم الشريحة إلى أكسدة القصدير Sn عند الأنود.
77. الضغط هو إشارة إلى التركيز؛ ولذلك، فإن الضغط عامل تركيز في أنصاف الخلايا التي تحتوي غازات.



■ الشكل 30

78. **حلّل** تم اكتشاف إناءٍ خزفي عام 1938 بالقرب من بغداد. كان هذا الإناء القديم يحتوي على قضيب حديدي محاط بأسطوانة نحاسية، كما هو موضح في **الشكل 30**. عندما تم ملء الإناء بمحلول إلكتروليتي كالخل، عمِل هذا الإناء كبطارية.
   a. حدد الكاثود.
   b. حدد الأنود.
   c. احسب الجهد القياسي للخلية في هذه البطارية.

79. **طبّق** تُطلق خلية إلكتروليتية بخار البروم وغاز الهيدروجين خلال عملية التحليل الكهربائي. بعد التحليل الكهربائي وجدنا أن الخلية تحتوي على محلول هيدروكسيد البوتاسيوم المركز. ما محتوى الخلية قبل بدء التحليل الكهربائي؟

80. **ضع فرضية** افترض أن الحديد طلي بالنحاس بدلاً من الخارصين أثناء عملية الجلفنة. هل كان النحاس سيستمر في حماية الحديد من الصدأ، كما يفعل الخارصين، إذا تصدع طلاء النحاس أو تشقق؟ فسر إجابتك.

تحدي

81. يتم تركيب البطارية باستخدام القصدير والزئبق اللذين لهما تفاعلات الاختزال النصفية التالية:

$$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(aq)$$
$$Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Hg(l)$$

   a. اكتب معادلة موزونة لتفاعل الخلية.
   b. ما الذي يتأكسد وما الذي يُختَزل؟ حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل.
   c. ما التفاعل الذي يحدث عند الأنود؟ وما التفاعل الذي يحدث عند الكاثود؟
   d. ما هو جهد الخلية؟ استخدم **جدول 1**.
   e. إذا كان هناك محلول كبريتات الصوديوم في القنطرة الملحية، ففي أي اتجاه ستتحرك أيونات الكبريتات؟

78. **a.** أسطوانة النحاس، $E^0 = +0.3419\ V$
b. قضيب حديدي، $E^0 = -0.447\ V$
c. $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$
$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$
جهد الخلية $= +0.789\ V$
79. بروميد البوتاسيوم والماء
80. إذا تشقق النحاس، فستظهر أماكن التآكل. لا. الحديد أكثر استعدادًا للتأكسد من النحاس، لذلك تقل الحماية.

مسألة تحدي

81. **a.** $Hg^{2+}(aq) + Sn(s) \rightarrow Hg(l) + Sn^{2+}(aq)$
b. يُختزل الزئبق ويتأكسد القصدير. العامل المؤكسد هو أيونات الزئبق. العامل المختزل هو القصدير.
c. $Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg$ تحدث عند الكاثود و
$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^-$
تحدث عند الأنود.
d. جهد الخلية $= +0.989$ فولت
e. أيونات الكبريتات تتحرك نحو خلية القصدير النصفية.

الاختيار من متعدد

استخدم الجدول أدناه للإجابة على الأسئلة من *1* إلى *4*.

جهود اختزال قياسية مختارة عند درجة حرارة 25°C و 1 atm وتركيز 1*M*	
التفاعل النصفي	E°(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. ما الأيون الأكثر سهولة من حيث اختزاله؟

A. Mg^{2+}
B. Hg^{2+}
C. Ag^{+}
D. Al^{3+}

2. استنادًا إلى جهود الاختزال القياسية الموضحة أعلاه، ما الترميز الذي يمثل خلية فولتية بالشكل الصحيح؟

A. $Ag \mid Ag^{+} \parallel Al^{3+} \mid Al$
B. $Mg \mid Mg^{2+} \parallel H^{+} \mid H_2$
C. $H_2 \mid H^{+} \parallel Pb^{2+} \mid Pb$
D. $Pb \mid Pb^{2+} \parallel Al^{3+} \mid Al$

3. تتكون خلية فولتية من لوح مغنيسيوم مغمور في محلول $1\ M\ Mg^{2+}$ ولوح فضة مغمور في محلول $1\ M$ Ag^{+}. ما الجهد القياسي لهذه الخلية؟

A. 1.572 V
B. 3.172 V
C. 0.773 V
D. 3.971 V

4. بافتراض توفر الظروف القياسية، ما الخلية التي ستنتج جهدًا يصل إلى 2.513 فولت؟

A. $Al \mid Al^{3+} \parallel Hg^{2+} \mid Hg$
B. $H_2 \mid H^{+} \parallel Hg^{2+} \mid Hg$
C. $Mg \mid Mg^{2+} \parallel Al^{3+} \mid Al$
D. $Pb \mid Pb^{2+} \parallel Ag^{+} \mid Ag$

5. ما العبارة غير الصحيحة بين هذه العبارات الخاصة بالبطاريات؟

A. البطاريات هي أشكال مضغوطة للخلايا الفولتية.
B. البطاريات الثانوية هي بطاريات تخزين.
C. يمكن أن تتكون البطارية من خلية واحدة.
D. تفاعل الأكسدة والاختزال في البطارية القابلة لإعادة الشحن غير انعكاسي.

الاختيار من متعدد

1. B
2. B
3. B
4. A
5. D