الوحدة الثانية

الكيمياء

الكهربائية

طوّرت وكالة ناسا الفضائية وقوداً صلباً مكوّناً من فوق كلورات الأمونيوم NH_4ClO_4 ومسحوق الألمنيوم Al ؛ إذ تعمل فوق الكلورات على أكسدة الألمنيوم فينتج اكسيد الألمنيوم Al_2O_3 وكلوريد الألمنيوم $AlCl_3$ وبخار الماء H_2O وغاز النيتروجين N_2 ، ويصل التفاعل إلى درجة حرارة 276 °C ، فيتمدد الغازات بسرعة ؛ ممّا يؤدي إلى دفع الصاروخ وإنطلاقه من منصة الإطلاق بفضل تفاعلات التأكسد والاختزال .

الفكرة العامة :

تعد تفاعلات التأكسد والاختزال شائعة في الطبيعة ، ومهمة في الصناعة ، وتتضمن إنتقال الإلكترونات من المادة التي تتأكسد إلى المادة التي تختزل ، وما يصاحبها من إنتاج طاقة كهربائية او استهلاكها .

الدرس الأول : التأكسد والاختزال

الفكرة الرئيسية : تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان ؛ إذ تحدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت من خلال التغير في أعداد التأكسد ، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل .

الدرس الثاني : الخلايا الجلفانية

الفكرة الرئيسية : تتحوّل الطاقة الكيميائية إلى كهربائية في الخلية الجلفانية من خلال تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث ، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكونة لها .

الدرس الثالث : خلايا التحليل الكهربائي

الفكرة الرئيسية : تستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي .

تجربة استهلالية

تفاعل بعض الفلزّات مع حمض الهيدروكلوريك HCl

الموادُّ والأدوات: شريط مغنيسيوم طوله 5 cm، حبيبات الخارصين Zn، حبيبات الألمنيوم Al، سلك نحاس Cu، محلول حمض الهيدروكلوريك HCl تركيزه (1 M)، أنابيب اختبار عدد (4)، حامل أنابيب الاختبار، مخبار مُدَرَّج، ورق صنفرة.

إرشاداتُ السلامة:

• أتبعُ إرشاداتِ السلامة العامّة في المختبر. • أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازات. • أتعامل مع الحمض بحذر.

خطواتُ العمل:

1. أُحضر 4 أنابيب اختبار نظيفة وجافة وأرقِّمُها من (1–4) وأضعها على حامل الأنابيب.
2. **أقيس.** أضعُ باستخدام المخبار المُدَرَّج 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl في كل أنبوب.
3. **أُلاحظ.** أُنَظِّفُ شريط المغنيسيوم جيدًا باستخدام ورق الصنفرة، ثم أضعه في أنبوب الاختبار رقم (1) وأرجُّه بلطف. هل حدث تفاعل؟ ما الدليل على حدوثه؟ أُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.
4. **أُجَرِّب.** أُكَرِّرُ الخطوات السابقة باستخدام حبيبات الخارصين وحبيبات الألمنيوم وسلك النحاس. هل حدث تفاعل؟ هل تختلف سرعة التفاعل باختلاف نوع الفلز المستخدم؟ أُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.
5. **أُنَظِّمُ البيانات.** أُسَجِّلُ ملاحظاتي حول تفاعل الفلزّات المستخدمة مع حمض HCl في الجدول الآتي:

التحليلُ والاستنتاج:

1- أُحَدِّدُ الفلزات التي تفاعلت مع حمض الهيدروكلوريك HCl.

2- **أُرَتِّبُ** الفلزّات حَسَبَ سرعة تفاعلها مع الحمض.

3- أكتبُ معادلات كيميائيّة موزونة للفلزّات التي تفاعلت مع الحمض.

4- أُحَدِّدُ التغيُّرَ الذي طرأ على شحنة كل فلزّ في التفاعلات السابقة. ما نوع التفاعل؟

جدول البيانات:

الفلزّ	حدوث تفاعل نعم، لا	تصاعد غاز H_2 نعم، لا	سرعة التفاعل أسرع، أقل سرعة، لم يتفاعل
Mg			

الدرس الأول : التأكسد والاختزال

■ الفكرة الرئيسية :

تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان ؛ إذ تحدّد المادة التي تأكسدت والمادة التي اختزلت من خلال التغير في أعداد التأكسد ، ويمكن موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل .

- تهتم الكيمياء الكهربائية كأحد فروع الكيمياء بدراسة التحولات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية الناتجة عن تفاعلات التأكسد والاختزال والتطبيقات العملية المرتبطة بها .

- وتعدّ تفاعلات التأكسد والاختزال من التفاعلات الكيميائية المهمة التي تحدث في بعض العمليات الحيوية ، كالبناء الضوئي والتنفس وتحرير الطاقة من الغذاء اللازم لأداء الكائن الحي أنشطته المختلفة ، وتحصل وسائل النقل على الطاقة اللازمة لتسييرها بحرق الوقود عن طريق تفاعلات تأكسد واختزال ايضاً ، وينتج صدأ الحديد عن تفاعلات تأكسد واختزال تحدث عند تعرّض الحديد للهواء الجوي الرطب .

- استخدم الكيميائيون القدامى مصطلح التأكسد لوصف تفاعل المادة مع الأكسجين ، ومصطلح الاختزال لوصف نزع الأكسجين من المادة ، كما يوضّح التفاعل الآتي :

$$2Fe_2O_{3(S)} + 3C_{(S)} \longrightarrow 3CO_{2(g)} + 4Fe_{(S)}$$

فالكربون تأكسد لأنه ارتبط بالأكسجين ، أما الاختزال فقد حدث عند نزع الأكسجين من أكسيد الحديد III

- ومع مرور الوقت ، تطوّر مفهوم التأكسد والاختزال ليشمل تفاعلات أخرى لا تتضمن التفاعل مع الأكسجين ، فعُرّف التأكسد بأنه فقد المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي ، أما الاختزال فهو كسب المادة للإلكترونات خلال التفاعل الكيميائي .

- وتعدّ عمليتا التأكسد والاختزال متلازمتين تحدث إحداهما مع حدوث الأخرى ، ويسمّى التفاعل الذي تحدث فيه عمليتا التأكسد والاختزال معاً تفاعل تأكسد واختزال فمثلاً ، يتفاعل الكالسيوم مع غاز الكلور حسب المعادلة :

$$Ca_{(S)} + Cl_{2\,(g)} \longrightarrow CaCl_{2\,(g)}$$

يلاحظ أن كلاً من الكالسيوم والكلور في المواد المتفاعلة متعادلا الشحنة ، وأن مركب كلوريد الكالسيوم الناتج $CaCl_2$ مركب أيوني مكون من اتحاد أيون الكالسيوم الموجب Ca^{+2} وايوني الكلوريد السالبين $2Cl^-$ ، اللذين تكوّنا نتيجة تأكسد ذرة الكالسيوم بفقد إلكترونين واختزال ذرتي الكلور في جزيئ الكلور Cl_2 ، بحيث تكسب كل ذرة منه إلكتروناً واحداً .

ولتوضيح ذلك ، يمكن كتابة معادلة التفاعل السابقة على شكل نصفي تفاعل ؛ حيث يوضّح نصف التفاعل فقد الإلكترونات خلال عملية التأكسد أو اكتسابها خلال عملية الاختزال كما ياتي :

نصف تفاعل تأكسد :

$$Ca_{(S)} \longrightarrow Ca^{+2} + 2e^-$$

نصف تفاعل اختزال :

$$Cl_{2(g)} + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$$

ألاحظ أن عدد الإلكترونات المفقودة خلال عملية التأكسد يساوي عدد الإلكترونات المكتسبة خلال عملية الاختزال .

مثال 1 (كتاب) :

يتفاعل الحديد مع محلول كبريتات النحاس II حسب المعادلة :

$$Fe_{(s)} + CuSO_{4(aq)} \longrightarrow Cu_{(S)} + FeSO_{4(aq)}$$

أحدد ذرة العنصر التي تأكسدت والأيون الذي اختزل في التفاعل ، وأكتب أنصاف تفاعلات التأكسد والاختزال .

الحل :

أكتب معادلة أيونية تمثل التفاعل :

$$Fe_{(S)} + Cu^{+2}_{(aq)} \longrightarrow Cu_{(S)} + Fe^{+2}_{(aq)}$$

ألاحظ أن ذرات الحديد المتعادلة فإنها تأكسدت بفقد إلكترونيين متحوّلة لأيونات الحديد الموجبة Fe^{+2} حسب المعادلة :

نصف تفاعل التأكسد :

$$Fe_{(S)} \longrightarrow Fe^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

وأما أيونات النحاس Cu^{+2} فقد اختزلت بكسب إلكترونيين متحوّلة لذرات النحاس المتعادلة كما في المعادلة الآتية :

نصف تفاعل الاختزال :

$$Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(S)}$$

أتحقق :

1. أحدد الذرات أو الأيونات التي تأكسدت أو اختزلت في التفاعلات الآتية :

$$2KI_{(aq)} + Br_{2(L)} \longrightarrow 2KBr_{(aq)} + I_{2(aq)}$$

الحل :

تأكسد أيوني اليود I^- وتحوّلها إلى جزيئ I_2 متعادل ، واختزال ذرتي البروم في جزيئ Br_2 وتحولها إلى أيونات سالبة $2Br^-$

$$C_{(S)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$$

الحل :

تأكسد الكربون لارتباطه بالأكسجين واختزال الاكسجين .

2. أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال للتفاعل الآتي :

$$2H^+_{(aq)} + Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

الحل :

نصف تفاعل تأكسد :

$$Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

نصف تفاعل اختزال :

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)}$$

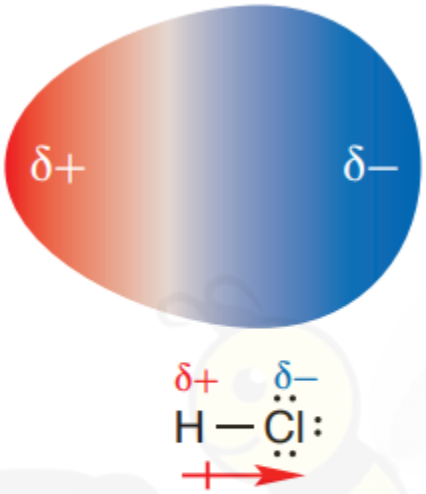
■ عدد التأكسد

لا تقتصر تفاعلات التأكسد والاختزال على تكوين مركبات أيونية فقط ، بل تتضمن أيضاً تكوين مركبات جزيئية ترتبط ذرات عناصرها بروابط تساهمية ؛ إذ لا تحدث فيها عملية فقد وكسب للإلكترونات بشكل كلي .

فمثلا ، يتفاعل غاز الهيدروجين مع غاز الكلور لتكوين غاز كلوريد الهيدروجين حسب المعادلة :

$$H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \longrightarrow 2HCl_{(g)}$$

الرابطة بين ذرتي الهيدروجين رابطة تساهمية غير قطبية ، وكذلك الرابطة بين ذرتي الكلور أما بالنسبة إلى كلوريد الهيدروجين HCl فإن الرابطة بين ذرتي الكلور والهيدروجين رابطة تساهمية قطبية ، ولأن السالبية الكهربائية للكلور أعلى من الهيدروجين يكون زوج الإلكترونات الرابطة بين الذرتين مزاحاً باتجاه ذرة الكلور بدون أن يحدث له انتقال كلي ، فتظهر على ذرة الهيدروجين شحنة جزئية موجبة ، ويظهر على ذرة الكلور شحنة جزئية سالبة كما يوضح الشكل (2) :



الشكل (2): الرابطة التساهميَّة القطبيَّة في جزئ H-Cl.

يعرف عدد التأكسد بأنه :

- **عدد التأكسد في المركبات الأيونية :** الشحنة الفعلية لأيون الذرة في المركبات الأيونية .

- **عدد التأكسد في المركبات الجزيئية :** هو الشحنة التي يفترض أن تكسبها الذرة المكوّنة للرابطة التساهمية مع ذرة أخرى فيما لو انتقلت إلكترونات الرابطة كلياً إلى الذرة التي لها أعلى سالبية كهربائية .

ففي جزيئ H – Cl ، لو افترضنا أن الإنتقال الكلي لإلكترونات الرابطة إلى ذرة الكلور يكون عدد تأكسد الهيدروجين (1+) وعدد تأكسد الكلور (1-) .

قواعد أساسية لحساب أعداد التأكسد :

1. عدد تأكسد ذرة العنصر الحرّ يساوي صفر سواءً وجد على شكل ذرات أو جزيئات مثل :

(C ، N_2 ، S_8 ، P_4 ، O_2 ، Na)

2. عدد تأكسد الأيون أحادي الذرة يساوي شحنة هذا الأيون :

$Cu^{+2} \longrightarrow 2$
$Br^{-} \longrightarrow -1$
$N^{-3} \longrightarrow -3$
$Al^{+3} \longrightarrow +3$

3. عدد تأكسد عناصر (فلزات) المجموعة الأولى IA في مركباتها (1+) ويطلق عليها القلويات مثل :

(Na , K , Li)

1+	⟵ KCl
1+	⟵ NaBr
1+	⟵ LiCl

4. عدد تأكسد فلزات المجموعة الثانية IIA (القلويات الترابية) في مركباتها +2 مثل :

(Ca , Sr , Ba , Mg)

2+	←	$CaCl_2$
2+	←	BaO
2+	←	$MgBr_2$
2+	←	$Sr(OH)_2$

``

5. عدد تأكسد فلزات المجموعة الثالثة IIIA مثل : Al , B في مركباتها (+3) مثل :

$AlCl_3$ ← 3+

6. عدد تأكسد الهيدروجين في معظم مركباته (+1) عندما يرتبط مع الفلزات مكوناً هيدريد الفلز فيكون حينئذ (-1) امثلة :

1+	← HF	
	NaH →	1-
	LiH →	1-
	KH →	1-
	CaH_2 →	1-
	BaH_2 →	1-
	MgH_2 →	1-
	AlH_3 →	1-
	$NaBH_4$ →	1-
	$LiAlH_4$ →	1-

7. عدد تأكسد الأكسجين في معظم مركباته (-2) ما عدا فوق الأكاسيد ، فيكون حينئذ (-1) وعندما يرتبط مع الفلور يكون موجباً ، امثلة :

1+	← H_2O →	-2
	H_2O_2 →	1-
	K_2O_2 →	1-
	Na_2O_2 →	1-
	BaO_2 →	1-
	MgO_2 →	1-
	F_2O →	+2
	OF_2 →	+2
	F_2O_2 →	+1

8. عدد تأكسد الفلور في جميع مركباته يساوي (-1) وعدد تأكسدر الهالوجينات Cl , Br , I في معظم مركباتها يساوي (-1) أما إذا ارتبط أي منها مع الأكسجين أو مع هالوجين سالبيته الكهربائية أعلى فيكون عدد تأكسده موجباً ، وترتيبها حسب السالبية الكهربائية Cl > Br > I ، امثلة :

	NaF →	-1
	KI →	-1
1+	← ClF →	1-
	HBrO ↘	1+
	$HBrO_2$ ↘	+3
	$HBrO_3$ ↘	+5

9. مجموع أعداد التأكسد لجميع ذرات أو أيونات العناصر المكوّنة للمركب المتعادل يساوي صفراً .

10. مجموع أعداد التأكسد لجمع ذرات العناصر المكوّنة لأيون متعدّد الذرات يساوي شحنة هذا الأيون .

مثال 2 (الكتاب) :

أحدد عدد التأكسد لذرة عنصر الكبريت S في المركبات أو الأيونات الآتية :

أ) SO_2

س ↙

$(n_{Oxido} \times n_{Oatoms}) + (n_{Oxids} \times n_{Satoms}) = 0$

$(-2 \times 2) + (n_{Oxids} \times 1) = 0$

$n_{Oxids} = +4$

ب) Na_2SO_4

$(+1 \times 2) + (n_{Oxids} \times 1) + (-2 \times 4) = 0$

$n_{Oxids} = +6$

ج) HS^-

$(+1 \times 1) + (n_{Oxids} \times 1) = -1$

$n_{Oxids} = -2$

مثال 3 (كتاب) :

أحدد عدد التأكسد لذرة العنصر التي تحتها خط :

ذرة العنصر	عدد التأكسد
$KMnO_4$	+7
$Cr_2O_7^{-2}$	+6
NH_4^+	-3
CaO_2	-1

أتحقق :

أحدد عدد التأكسد لذرة العنصر التي تحتها خط :

ذرة العنصر	عدد التأكسد
P_4	Zero
$Cr(OH)_3$	+3
PO_4^{-3}	+5
AlH_3	-1
$FeCl_3$	+3
$HClO_4$	+7
$H_3IO_6^{-2}$	+7

مثال 4 :

أحدد عدد التأكسد لذرة العنصر التي تحتها خط :

ذرة العنصر	عدد التأكسد
(1 MnO_2	+4
(2 MnO_4^-	+7
(3 $HClO_4$	+7
(4 $K_2Cr_2O_7$	+6
(5 $CrCl_3$	+3
(6 $CrCl_2$	+2
(7 $Cr_2O_7^{-2}$	+6
(8 BF_3	+3
(9 $KClO_3$	+5
(10 HPO_4^{-2}	+5
(11 H_2SO_4	+6
(12 $S_2O_3^{-2}$	+2
(13 $H_3IO_6^{-2}$	+7
(14 N_2O_3	+3
(15 N_2O	+1
(16 NO	+2
(17 NH_3	-3
(18 NO_2	+4
(19 OF_2	+2
(20 F_2O	+2
(21 F_2O_2	+1
(22 H_2O	-2
(23 H_2O_2	-1

ذرة العنصر	عدد التأكسد
(24 V_2O_5	+5
(25 K_2O	-2
(26 K_2O_2	-1
(27 BaO	-2
(28 BaO_2	-1
(29 Na_2O	-2
(30 Na_2O_2	-1
(31 MgO	-2
(32 MgO_2	-1
(33 O_2	صفر
(34 HO_2^-	-1
(35 NH_4NO_3 ↙ -3 ↘ +5	
(36 NH_4^+	-3
(37 KH	-1
(38 NaH	-1
(39 CaH_2	-1
(40 BaH_2	-1
(41 AlH_3	-1
(42 $HClO$	+1
(43 $HClO_3$	+5
(44 $HBrO$	+1
(45 HBr	-1
(46 $HBrO_3$	+5
(47 $I Cl$	I = +1 Cl = -1
(48 H_2O_2	+1
(49 $LiAlH_4$	-1

ذرة العنصر	عدد التأكسد
(50 $NaBH_4$	-1
(51 H_2	صفر
(52 $NaBiO_3$	+5
(53 K_2SnO_2	+2
(54 $H_2PO_4^-$	+5
(55 IO_3^-	+5
(56 $Zn(NH_3)_2^{+2}$	+2
(57 $CoCl_6^{-3}$	+3
(58 $(NH_4)_2U_2O_7$	+6
(59 $Na_2U_2O_7$	+6
(60 $Sn(OH)_6^{-2}$	+4
(61 $Ca_3(PO_4)_2$	+5
(62 ClF	C = +1 F = -1
(63 F_3BNH_3	-3
(64 $Ag(CN)_2^-$	+1
(65 $(NH_4)_2S$	N = -3 S = -2

■ التغيير في أعداد التأكسد :

يستفاد من حساب أعداد التأكسد في معرفة ذرات او أيونات العناصر التي تأكسدت أو اختزلت في تفاعلات التأكسد والاختزال فمثلاً ، يتفاعل النحاس مع محلول نترات الفضة مكوّناً محلول نترات النحاس ، وتترسب الفضة وفق المعادلة الأيونية الآتية :

$$2Ag^{+}_{(aq)} + Cu_{(S)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + 2Ag_{(S)}$$

لمعرفة الذرات أو الأيونات التي تأكسدت أو اختزلت سيجري حساب أعداد التأكسد وملاحظة التغير فيها :

$$\underset{+1}{2Ag^{+}_{(aq)}} + \underset{0}{Cu_{(S)}} \longrightarrow \underset{+2}{Cu^{+2}_{(aq)}} + \underset{0}{2Ag_{(S)}}$$

ألاحظ نقصان عدد التأكسد لأيون الفضة Ag^{+} من (1+ إلى 0) وزيادة عدد تأكسد ذرة النحاس Cu من (0 إلى 2+)

في تفاعلات التأكسد والاختزال يدلّ النقص في عدد التأكسد على حدوث عملية اختزال ، وتدّل الزيادة إلى حدوث عملية تأكسد ؛ أي أن ايونات الفضة Ag^{+} في التفاعل قد أختزلت ، أما ذرات النحاس Cu فقد تأكسدت ، ويمكن توضيح ذلك باستخدام أنصاف تفاعلات التأكسد والاختزال كالآتي :

نصف تفاعل التأكسد / زيادة في عدد التأكسد :

$$Cu_{(S)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^{-}$$

نصف تفاعل الاختزال / نقصان في عدد التأكسد :

$$2Ag^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow 2Ag_{(S)}$$

أي أن تغييراً في أعداد التأكسد يحدث في تفاعلات التأكسد والاختزال ؛ فزيادة أعداد التأكسد تحدث لذرات أو أيونات العناصر التي تتأكسد ، أما نقصان أعداد التأكسد فيحدث لذرات أو أيونات العناصر التي تختزل .

المثال 5 (كتاب) :

أحدد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت في التفاعل الآتي :

$$\underset{-2}{SO_{2(g)}} + \underset{0}{Br_{2(aq)}} + \underset{-2}{2H_2O_{(L)}} \longrightarrow \underset{-1}{2HBr_{(aq)}} + \underset{+6}{H_2SO_{4(aq)}}$$

الحل :

ذرة الكبريت S تأكسدت لأنه حدث لها زيادة في عدد التأكسد بمقدار 2 من (4+ إلى 6+) ، بالتالي ذرة الكبريت في SO_2 تأكسدت .

ذرة البروم Br في Br_2 اختزلت لأنه حدث لها نقصان في عدد التأكسد بمقدار 1 لكل ذرة بروم (صفر إلى -1) .

أتحقق :

أحدد الذرات التي تأكسدت والذرات التي اختزلت اعتماداً على التغير في أعداد التأكسد في التفاعلات الآتية :

1.

$$\underset{-4}{CH_{4(aq)}} + \underset{0}{2O_{2(g)}} \longrightarrow \underset{+4}{CO_{2(g)}} + \underset{-2}{2H_2O_{(g)}}$$

ذرة الكربون C في CH_4 تأكسدت لأنه حدث لها زيارة في عدد التأكسد من (4- إلى 4+) .

ذرة الأكسجين حدث لها نقصان في عدد التأكسد من (0 إلى 2-) أي أنها اختزلت .

2.

قل عدد تأكسد Si / اختزال

$$\underset{+4}{SiCl_{4(L)}} + \underset{0}{2Mg_{(S)}} \longrightarrow \underset{+2}{2MgCl_{2(S)}} + \underset{0}{Si_{(S)}}$$

زاد عدد تأكسد Mg / تأكسد

- **التأكسد :** فقد الإلكترونات أو الزيادة في عدد التأكسد .
- **الاختزال :** كسب الالكترونات أو نقصان عدد التأكسد .
- **تفاعل التأكسد والاختزال :** تفاعل كيميائي تحدث فيه عمليتا التأكسد والاختزال معاً .

■ العوامل المؤكسدة والعوامل المختزلة :

يعرّف العامل المؤكسد : بأنه المادة التي تؤكسد مادة أخرى في التفاعل الكيميائي ، فيكتسب الكترونات من المادة التي يؤكسدها وتحدث له عملية اختزال .

من الأمثلة على العوامل المؤكسدة :

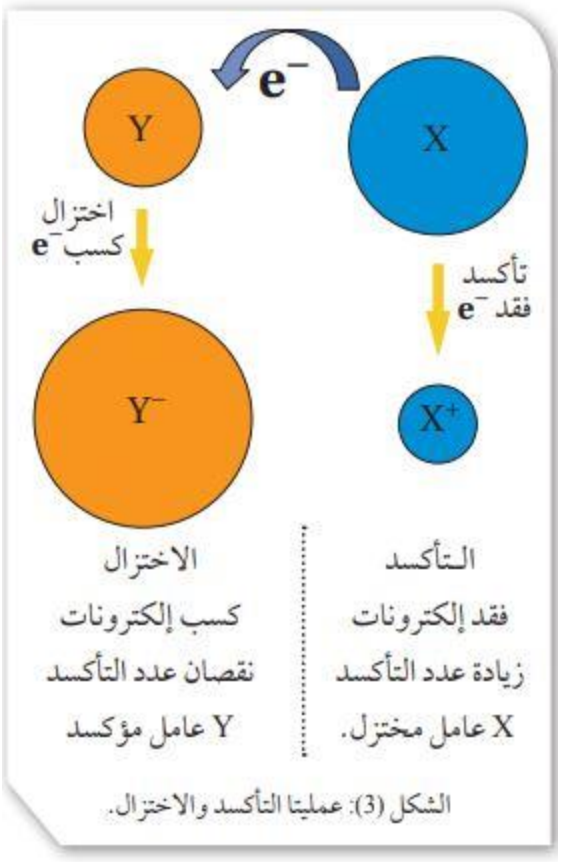
F_2 , $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$, O_2

العامل المختزل : هو المادة التي تختزل مادة أخرى في التفاعل الكيميائي ؛ اذ يفقد إلكترونات تكسبها المادة التي يختزلها وتحدث له عملية تأكسد .

من الأمثلة على العوامل المختزلة :

CO , $NaBH_4$, $LiAlH_4$

ومن ثم فكل تفاعل تأكسد يحتاج إلى عامل مؤكسد ليحدث ، وكل تفاعل اختزال يحتاج إلى عامل مختزل ليحدث ويوضّح الشكل (3) عمليتي التأكسد والاختزال :



الشكل (3): عمليتا التأكسد والاختزال.

المثال 6 (كتاب) :

يعد تفاعل الثيرمايت أحد تفاعلات التأكسد والاختزال المهمة حيث يتفاعل الألمنيوم مع أكسيد الحديد III لتكوين أكسيد الألمنيوم والحديد وكمية كبيرة من الطاقة كافية لصهر الحديد الناتج ، حسب المعادلة :

$$\overset{0}{2Al_{(S)}} + \overset{+3\ -2}{Fe_2O_{3(S)}} \longrightarrow \overset{0}{2Fe_{(L)}} + \overset{+3\ -2}{Al_2O_{3(S)}} + Heat$$

أحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل ؟

Fe^{+3} (اختزلت) ⟵ Fe_2O_3 (عامل مؤكسد)

Al (تأكسد) ⟵ Al (عامل مختزل)

ملاحظات هامة :

1. العامل المؤكسد والعامل المختزل تختارهم من المواد المتفاعلة (على يسار المعادلة) .
2. عندما تلفظ عملية التأكسد أو عملية الاختزال فإن العملية تحدث لذرة واحدة ضمن مركب أو أيون متعدّد الذرات ولكن عندما نلفظ (عامل مؤكسد) أو " عامل مختزل " فهذا العامل يكون لكامل المركب أو الأيون متعدد الذرات وليس لذرة فقط .

3. من الأمثلة الأخرى على العوامل المؤكسدة :
   - الأيونات الموجبة للفلزات الممثلة والانتقالية مثل : K^{+} , Na^{+} , Ag^{+} , Cu^{+2} ...
   - جزيئات الهالوجينات مثل : F_2 , Cl_2 , I_2
   - أيون الهيدروجين H^{+}

4. من الأمثلة الأخرى على العوامل المختزلة :
   - الفلزات الممثلة والانتقالية مثل : K , Na , Ag , Cu
   - الأيونات السالبة مثل : F^{-} , Cl^{-} , I^{-}

المثال 7 : حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعلات الآتية :

1. $2Al + 3CuCl_2 \longrightarrow 3Cu + 2AlCl_3$

الحل : Al : عامل مختزل

$CuCl_2$: عامل مؤكسد

2. $ZnSO_4 + Mg \longrightarrow Zn + MgSO_4$

الحل : $ZnSO_4$: عامل مؤكسد

Mg : عامل مختزل

3. $2FeCl_3 + SnCl_2 \longrightarrow 2FeCl_2 + SnCl_4$

الحل : $FeCl_3$: عامل مؤكسد

$SnCl_2$: عامل مختزل ل

4. $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

الحل : H_2 : عامل مختزل

O_2 : عامل مؤكسد

5. $H_2 + 2Li \longrightarrow 2LiH$

الحل : H_2 : عامل مؤكسد

Li : عامل مختزل

6. $N_2 + 2O_2 \longrightarrow 2NO_2$

الحل : N_2 : عامل مختزل

O_2 : عامل مؤكسد

7. $N_2 + 3H_2 \longrightarrow 2HN_3$

الحل : N_2 : عامل مؤكسد

H_2 : عامل مختزل

8. $3HSO_4^{-} + 8Al \longrightarrow 3S^{-2} + 4Al_2O_3 + 3H^{+}$

الحل : Al : عامل مختزل

HSO_4^{-} : عامل مؤكسد

9. $PbO_{(s)} + CO_{(g)} \longrightarrow Pb_{(s)} + CO_{2(g)}$

الحل : CO : عامل مختزل

PbO : عامل مؤكسد

ملاحظة مهمة :

الأكسجين O_2 يسلك دائما كعامل مؤكسد إلا في تفاعله مع الفلور فإنه يسلك كعامل مختزل .

المثال 8 :

هل يحتاج حدوث نصف التفاعلات الآتية لعامل مؤكسد أم العامل مختزل ؟

1. $Ni^{+2} + 2e^- \longrightarrow Ni$

الحل : يحتاج عامل مختزل .

2. $Cr^{+3} + 3e^- \longrightarrow Cr$

الحل : يحتاج عامل مختزل

3. $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

الحل : يحتاج عامل مؤكسد

الربطُ مع الحياة

تتعرَّضُ القطعُ الفضيّة للسواد مع الزمن؛ بسبب تكوُّنِ مادَّة كبريتيد الفضّة Ag_2S على سطحها الخارجي. ويمكنُ إزالةُ هذه الطبقة بوَضع هذه القِطع الفضيّة في ورق من الألمنيوم في وعاء يحتوي على محلول كربونات الصوديوم وملح الطعام، وتسخينه؛ فتتأكسد ذرات الألمنيوم وتَختَزِل أيونات الفضة حسب المعادلة:

$$3Ag_2S + 2Al \rightarrow 6Ag + 3S^{2-} + 2Al^{3+}$$

فتستعيد القطع الفضية لمعانها وبريقها.

اتحقق :

1. هل يحتاج حدوث التحوّلات الآتية إلى عامل مؤكسد أم عامل مختزل ؟ أفسّر إجابتي

أ) $I_2 \longrightarrow 2I^-$

الحل : قلّ عدد التأكسد ، نصف تفاعل اختزال يحتاج عامل مختزل .

ب) $Sn^{+2} \longrightarrow Sn^{+4}$

الحل : زاد عدد التأكسد ، نصف تفاعل تأكسد يحتاج عامل مؤكسد .

ج) $Mn^{+2} \longrightarrow MnO_2$

الحل : زاد عدد التأكسد ، نصف تفاعل تأكسد يحتاج عامل مؤكسد .

2. أحدّد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعل الآتي :

$H_{2(g)} + CuO_{(S)} \longrightarrow Cu_{(S)} + H_2O_{(L)}$

الحل :

عامل مختزل : H_2

عامل مؤكسد : CuO

■ التأكسد والاختزال الذاتي :

تتضمن تفاعلات التأكسد والاختزال وجود عامل مؤكسد وعامل مختزل ، ولكن وجد في بعض التفاعلات أن المادة نفسها تسلك كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل نفسه ويسمى تفاعل تأكسد واختزال ذاتي .

التأكسد والاختزال الذاتي : سلوك المادة كعامل مؤكسد وعامل مختزل في التفاعل نفسه فمثلاً ، يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 حسب المعادلة :

$$2H_2O_{2(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(L)} + O_{2(g)}$$

أحدد أعداد التأكسد لجميع الذرات في التفاعل كالآتي :

$$\overset{+1\ \ -1}{2H_2O_{2(aq)}} \longrightarrow \overset{+1\ -2}{2H_2O_{(L)}} + \overset{0}{O_{2(g)}}$$

نلاحظ عد تغيّر عدد تأكسد الهيدروجين ، أما الأكسجين فقد اختزل وقلّ عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2 إلى -2 في H_2O) ومن ثم يكون H_2O_2 عاملاً مؤكسداً ، كما تأكسد الاكسجين وزاد عدد تأكسده من (-1 في H_2O_2) إلى 0 في O_2) ، ومن ثم يكون H_2O_2 عاملاً مختزلاً ؛ ولأن التأكسد والاختزال حدثا لنفس العنصر وهو الأكسجين في H_2O_2 فالتفاعل يمثل تأكسداً واختزالاً ذاتياً .

المثال 9 :

يتفاعل الكلور مع محلول هيدروكسيد الصوديوم البارد حسب المعادلة الكيميائية الآتية :

$$2NaOH_{(aq)} + Cl_{2(g)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + NaClO_{(aq)} + H_2O_{(L)}$$

أبين لماذا يعدّ التفاعل أعلاه مثالاً على تفاعلات التأكسد والاختزال الذاتي ؟

الحل :

احسب أعداد التأكسد والاختزال لجميع الذرات والأيونات في التفاعل كالآتي :

$$\overset{+1}{2Na^+} + \overset{-2\ +1}{2OH^-} + \overset{0}{Cl_2} \longrightarrow \overset{+1}{Na^+} + \overset{-1}{Cl^-} + \overset{+1}{Na^+} + \overset{+1\ -2}{ClO^-} + \overset{+1\ -2}{H_2O}$$

ألاحظ ان أعداد التأكسد لجميع العناصر في المعادلة لم تتغيّر باستثناء عدد التأكسد للكلور ؛ إذ حدث تأكسد لذرة كلور وزاد عدد تأكسدها من (صفر في Cl_2 إلى +1 في ClO^-) وبذلك فإن Cl_2 سلك كعامل مختزل ، وكذلك حدث اختزال لذرة الكلور الثانية وقل عدد تأكسدها من (صفر في Cl_2 إلى -1 في Cl^-) وبذلك فإن Cl_2 سلك كعامل مؤكسد ؛ أي أن التأكسد والاختزال حدثا لنفس العنصر في التفاعل وعليه فإن التفاعل تأكسد واختزال ذاتي .

أتحقق :

أحدد المعادلات التي تمثل تفاعل تأكسد واختزال ذاتي :

أ) $2ClO_3^- \longrightarrow ClO_4^- + ClO_2^-$

+5 +7 +3

نعم تفاعل تأكسد واختزال ذاتي .

ب) $NaOH + HCl \longrightarrow NaCl + H_2O$

+1 -2 +1 +1 -1 +1 -1 +1 -2

التفاعل لا يمثل تأكسد واختزال نهائياً لأنه لا يوجد أي تغير على أعداد تأكسد ذرات العناصر .

ج) $H_2SO_4 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow SO_2 + 2H_2O$

+1 +6 -2 +1 +4 -2 +1 -2

لا يمثل تأكسد واختزال ذاتي .

د) $2CuCl \longrightarrow CuCl_2 + Cu$

+1 -1 +2 -1 0

نعم تفاعل تأكسد واختزال ذاتي .

المثال 10 :

حدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في التفاعلات الآتية :

.1

$HNO_3 + KOH \longrightarrow KNO_3 + H_2O$

+1 +5 -2 +1 -2 +1 +1 +5 -2 +1 -2

التفاعل لا يمثل تفاعل تأكسد واختزال لأنه لم يطرأ أي تغير على أعداد تأكسد الذرات .

.2

$2OH^- + Br_2 \longrightarrow BrO^- + Br^- + H_2O$

0 +1 -1

Br_2 : عامل مؤكسد وعامل مختزل أيضاً (تأكسد واختزال ذاتي) .

.3

$Cl_2 + 2OH^- \longrightarrow Cl^- + ClO^- + H_2O$

0 -1 +1

Cl_2 : عامل مؤكسد وعامل مختزل أيضاً (تأكسد واختزال ذاتي) .

.4

$NO_2^- + Cl_2 + 2KOH \longrightarrow NO_3^- + 2KCl + H_2O$

NO_2^- : عامل مختزل / Cl_2 : عامل مؤكسد

.5

$$3S + 3H_2O \longrightarrow H_2SO_3 + 2H_2S$$

0 ، +4 ، -2

S : عامل مؤكسد وعامل مختزل أيضاً (تأكسد واختزال ذاتي)

.6

$$3BrO^- \longrightarrow 2Br^- + BrO_3^-$$

+1 ، -1 ، +5

BrO^- : عامل مؤكسد وعامل مختزل أيضاً (تأكسد واختزال ذاتي) .

المثال 11 :

أي من المواد الآتية يمكن أن يسلك كعامل مؤكسد :

H^+	O^{-2}	Br_2	K	Ca^{+2}	F_2

الحل :

F_2	Ca^{+2}	Br_2	H^+

المثال 12 :

أي من المواد الآتية يمكن أن يسلك كعامل مختزل :

H^-	Mg	Na^+	Cl^-	F_2

الحل :

Cl^-	Mg	H^-

■ موازنة معادلات التأكسد والاختزال

تحقق معادلة التأكسد والاختزال قانونان هما :

1. قانون حفظ الكتلة ؛ مما يعني أن أنواع وأعداد ذرات العناصر المكوّنة للمواد المتفاعلة مماثلة لها في المواد الناتجة .

2. قانون حفظ الشحنة ؛ أي أن مجموع شحنات المواد المتفاعلة مساوية لمجموعها في المواد الناتجة ، ويتحقق ذلك عندما يكون عدد الإلكترونات المكتسبة في أثناء تفاعل الاختزال مساوياً لعدد الإلكترونات المفقودة خلال تفاعل التأكسد .

فمثلاً ، في معادلة التفاعل الآتية :

$$Mg_{(S)} + 2H^+_{(aq)} \longrightarrow Mg^{+2}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

يلاحظ أن عدد ذرات المغنيسيوم والهيدروجين متساوٍ على طرفي المعادلة ، وكذلك مجموع شحنات المواد المتفاعلة يساوي مجموعها للمواد النات.جة ، ويساوي (+2) . وعليه ، يكون عدد الإلكترونات التي فقدتها ذرة المغنيسوم يساوي عدد الإلكترونات التي اكتسبها أيونا الهيدروجين ، وتساوي

(2) ولمّا كانت موازنة جميع معادلات التأكسد والاختزال بطريقة المحاولة والخطأ غير ممكنة ، فقد طوّر العلماء طرائق أخرى لموازنتها منها طريقة نصف التفاعل .

1. موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل :

تعتمدر طريقة نصف التفاعل لموازنة معادلة التأكسد والاختزال على تجزئة المعادلة إلى نصفي تفاعل ؛ نصف تفاعل تأكسد ونصف تفاعل اختزال ، ثم موازنة كل نصف تفاعل منفرداً من حيث أعداد الذرات والشحنات ثمّ مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة لنصفي التفاعل ، يليها جمع نصفي التفاعل للحصول على المعادلة الموزونة .

المثال 13 (كتاب) :

أوازن معادلة التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل :

$$Sn^{+2}_{(aq)} + Fe^{+3}_{(aq)} \longrightarrow Sn^{+4}_{(aq)} + Fe^{+2}_{(aq)}$$

الحل :

نصف تفاعل التأكسد :

$$Sn^{+2} \longrightarrow Sn^{+4} + 2e^-$$

نصف تفاعل الاختزال :

$$(Fe^{+3} + e^- \longrightarrow Fe^{+2}) \times 2$$

نجمع نصفي التأكسد والاختزال بشرط تساوي الالكترونات في النصفين :

$$Sn^{+2} \longrightarrow Sn^{+4} + 2e^-$$

$$2Fe^{+3} + 2e^- \longrightarrow 2Fe^{+2}$$

$$Sn^{+2} + 2Fe^{+3} \longrightarrow Sn^{+4} + 2Fe^{+2}$$

تحدث معظم تفاعلات التأكسد والاختزال في المحاليل المائية في أوساط حمضية أو قاعدية لذلك فإن خطوات موازنة معادلاتها تحتاج إلى خطوات إضافية بحسب طبيعة الوسط .

2. موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي :

عند حدوث تفاعل التأكسد والاختزال في وسط حمضي فإن الماء وأيونات الهيدروجين يكونان جزءاً من التفاعل ؛ لذلك يستخدمان في موازنة معادلات التأكسد والاختزال .

- خطوات موازنة تفاعلات التأكسد والاختزال في وسط حمضي :

1. نقسم معادلة التفاعل إلى نصفي تفاعل وذلك بمقارنة المواد المتفاعلة والناتجة .
2. نوازن كل نصف على حدة باتباع الخطوات الآتية :

أ) نوازن الذرات باستثناء الأكسجين والهيدروجين بالضرب .

ب) نوازن ذرات الأكسجين بإضافة عدد من جزيئات الماء H_2O إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الأكسجين بمقدار النقص فيها .

ج) نوازن ذرات الهيدروجين بإضافة عدد من أيونات الهيدروجين H^+ إلى طرف المعادلة الذي يحتوي على عدد أقل من ذرات الهيدروجين بمقدار النقص فيها .

د) نوازن الشحنات بإضافة عدد من الإلكترونات (e^-) إلى طرف المعادلة الذي يكون المجموع الجبري للشحنات فيه أكبر ، بحيث يصبح المجموع الجبري للشحنات متساوياً على طرفيها .

3. لموازنة نصف التفاعل الآخر ، أطبق الخطوات نفسها في الخطوة (2) .

4. نجمع نصفي التفاعل بشرط تساوي عدد الالكترونات المفقودة والمكتسبة في النصفين ، ثم نحذف الالكترونات في النصفين ثم نجمع النصفين للحصول على معادلة التفاعل الكلي الموزونة ، ونكتب المعادلة بأبسط صورة .

المثال 14 (كتاب) :

أوازن المعادلة بطريقة نصف التفاعل في الوسط الحمضي :

$$Cr_2O_7^{-2}{}_{(aq)} + HNO_{2(aq)} \longrightarrow Cr^{+3}_{(aq)} + NO_3^-{}_{(aq)}$$

الحل :

نصف تفاعل الاختزال :

$$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{+3} + 7H_2O$$

نصف تفاعل التأكسد :

$$HNO_2 + H_2O \longrightarrow NO_3^- + 3H^+ + 2e^-$$

نضرب نصف تفاعل التأكسد (3 ×) ثم نجمع الأنصاف :

نصف تفاعل التأكسد :

$3HNO_2 + 3H_2O \longrightarrow 3NO_3^- + 9H^+ + 6e^-$

نصف تفاعل الاختزال :

$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{+3} + 7H_2O$

$5H^+$ $4H_2O$

$3HNO_2 + Cr_2O_7^{-2} + 5H^+ \longrightarrow 3NO_3^- + 2Cr^{+3} + 4H_2O$

ملاحظة :

- إذا طلب في المثال السابق عدد الالكترونات المفقودة في نصف التأكسد يكون الجواب 2 .
- إذا طلب في المثال السابق عدد الالكترونات المكتسبة في نصف تفاعل الاختزال يكون الجواب 6 .
- إذا طلب في المثال السابق عدد الالكترونات المفقودة أو المكتسبة في التفاعل يكون الجواب 6 (وهو المضاعف المشترك الأصغر للالكترونات المفقودة والمكتسبة يعني إلي بنشطبهم مع بعض) .
- بعض المجموعات الأيونية اللازم حفظها :

PO_4^{-3}	SO_4^{-2}	CO_3^-	NO_3^-	NH_4^+

اتحقق :

أوزن المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في وسط حمضي ، وأحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل منها:

.1

$BrO_3^-{}_{(aq)} + C_2O_4^{-2}{}_{(aq)} \longrightarrow Br^-{}_{(aq)} + CO_{2(g)}$

الحل :

اختزال : $BrO_3^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow Br^- + 3H_2O$

تأكسد :

$(C_2O_4^{-2} \longrightarrow 2CO_2 + 2e^-) \times 3$

$BrO_3^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow Br^- + 3H_2O$

$3C_2O_4^{-2} \longrightarrow 6CO_2 + 6e^-$

$BrO_3^- + 6H^+ + 3C_2O_4^{-2} \longrightarrow Br^- + 6CO_2 + 3H_2O$

العامل المؤكسد : BrO_3^-

العامل المختزل : $C_2O_4^{-2}$

.2

$As_{(S)} + ClO_3^-{}_{(aq)} \longrightarrow H_3AsO_{3(aq)} + HClO_{(aq)}$

الحل : نصف معادلة التأكسد :

$(As + 3H_2O \longrightarrow H_3AsO_3 + 3H^+ + 3e^-) \times 4$

الاختزال :

$(ClO_3^- + 5H^+ + 4e^- \longrightarrow HClO + 2H_2O) \times 3$

نجمع المعادلتين :

$6H_2O$

$4As + 12H_2O \longrightarrow 4H_3AsO_3 + 12H^+ + 12e^-$

$3ClO_3^- + 15H^+ + 12e^- \longrightarrow 3HClO + 6H_2O$

$3H^+$

$4As + 6H_2O + 3ClO_3^- + 3H^+ \longrightarrow 4H_3AsO_3 + 3HClO$

العامل المؤكسد : ClO_3^-

العامل المختزل : As

2. موازنة معادلات التأكسد والاختزال بطريقة نصف التفاعل في وسط قاعدي .

توازن معادلات التأكسد والاختزال في وسط قاعدي بالخطوات نفسها المتبعة لموازنتها في الوسط الحمضي ثم يضاف عدد من أيونات الهيدروكسيد OH^- مساوٍ لعدد أيونات الهيدروجين H^+ في المعادلة الموزونة في الوسط الحمضي إلى طرفي المعادلة ؛ حيث تتعادل أيونات الهيدروجين H^+ مع أيونات الهيدروكسيد OH^- مكوّنة عدداً من جزيئات الماء H_2O، ثم نختصر جزيئات الماء في طرفي المعادلة أو تجمع إذا كانت في الطرف نفسه ، بحيث تظهر في أحد أطراف التفاعل الكلي الموزون ؛ وبذلك نحصل على معادلة موزونة في وسط قاعدي .

المثال 15 (كتاب) :

أوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي :

$$MnO_4^-{}_{(aq)} + ClO_2^-{}_{(aq)} \longrightarrow MnO_{2(S)} + ClO_4^-{}_{(aq)}$$

الحل : نصف تفاعل التأكسد :

$$(ClO_2^- + 2H_2O \longrightarrow ClO_4^- + 4H^+ + 4e^-) \times 3$$

$$(MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \longrightarrow MnO_2 + 2H_2O) \times 4$$

$$3ClO_2^- + 6H_2O \longrightarrow 3ClO_4^- + 12H^+ + 12e^-$$

$$4MnO_4^- + 16H^+ + 12e^- \longrightarrow 4MnO_2 + 8H_2O$$

$4H^+$ ، $2H_2O$

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 4H^+ \longrightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 2H_2O$$

نضيف إلى طرفي المعادلة $4(OH^-)$

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 4H^+ + 4OH^- \longrightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 2H_2O + 4OH^-$$

$2H_2O$

المعادلة الكلية الموزونة في وسط قاعدي :

$$3ClO_2^- + 4MnO_4^- + 2H_2O \longrightarrow 3ClO_4^- + 4MnO_2 + 4OH^-$$

المثال 16 (كتاب) :

اوازن المعادلة الآتية بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي :

$$Br_{2(L)} \longrightarrow Br^-{}_{(aq)} + BrO_3^-{}_{(aq)}$$

الجواب النهائي :

المعادلة الكلية الموزونة في الوسط القاعدي في أبسط صورة :

$$3Br_2 + 6OH^- \longrightarrow 5Br^- + BrO_3^- + 3H_2O$$

المثال 17 (كتاب) :

أوازن نصف التفاعل الآتي بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي :

$$NO_3^-{}_{(aq)} \longrightarrow NH_{3(aq)}$$

الحل :

$$NO_3^- + 9H^+ + 9OH^- + 8e^- \longrightarrow NH_3 + 3H_2O + 9OH^-$$

$9H_2O$

نختصر جزيئات الماء في الطرفين :

$$NO_3^- + 6H_2O + 8e^- \longrightarrow NH_3 + 9OH^-$$

أتحقق :

أوزانا المعادلتين الآتيتين بطريقة نصف التفاعل في الوسط القاعدي ، وأحدد العامل المؤكسد والعامل المختزل في كل منها :

.1

$$CN^- + AsO_4^- \longrightarrow AsO_2^{-2} + OCN^-$$

الجواب النهائي :

$$5CN^- + 2AsO_4^- + 2OH^- \longrightarrow 5OCN^- + 2AsO_2^{-2} + H_2O$$

العامل المؤكسد : AsO_4^-

العامل المختزل : CN^-

.2

$NiO_2 + S_2O_3^{-2} \longrightarrow Ni(OH)_2 + SO_3^{-2}$

الجواب النهائي :

$H_2O + S_2O_3^{-2} + 2NiO_2 + 2OH^- \longrightarrow 2SO_3^{-2} + 2Ni(OH)_2$

العامل المؤكسد : NiO_2

العامل المختزل : $S_2O_3^{-2}$

- **اسئلة إضافية على الموازنة في وسط حمضي أو قاعدي :**

أوازن معادلات التأكسد والاختزال الآتية في وسط حمضي أو قاعدي :

.1

$As_2S_3 + NO_3^- \xrightarrow{H^+} HAsO_4^{-2} + S + NO_2^-$

الجواب النهائي :

$3H_2O + As_2S_3 + 5NO_3^- \longrightarrow 2HAsO_4^{-2} + 3S + 5NO_2^- + 4H^+$

.2

$FeS_2 + NO_3^- \xrightarrow{H^+} N_2 + FeO_2H + SO_4^{-2}$

الجواب النهائي :

$2H_2O + 2FeS_2 + 6NO_3^- \longrightarrow 3N_2 + 2FeO_2H + 2H^+ + 4SO_4^{-2}$

.3

$CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}} - H + Ag^+ \xrightarrow{OH^-} CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}} - O^- + Ag$

الجواب النهائي :

$3OH^- + CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H + 2Ag^+ \longrightarrow CH_3\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^- + 2Ag + 2H_2O$

.4

$CH_2O + NO_3^- \xrightarrow{H^+} N_2 + HCO_3^- + CO_2$

الجواب النهائي :

$10CH_2O + 8NO_3^- + 3H^+ \longrightarrow 4N_2 + 5HCO_3^- + 5CO_2 + 9H_2O$

.5

$As \xrightarrow{H^+} H_2AsO_4^- + AsH_3$

الجواب النهائي :

$8As + 12H_2O \longrightarrow 3H_2AsO_4^- + 5AsH_3 + 3H^+$

.6

$Cu_2O + H_2SO_4 \xrightarrow{H^+} Cu + CuSO_4$

الجواب النهائي :

$Cu_2O + H_2SO_4 \longrightarrow Cu + CuSO_4 + H_2O$

.7

$HNO_2 \xrightarrow{H^+} HNO_3 + NO$

الجواب النهائي :

$3HNO_2 \longrightarrow HNO_3 + 2NO + H_2O$

.8

$ClO^- \xrightarrow{H^+} Cl^- + ClO_3^-$

الجواب النهائي :

$3ClO^- \longrightarrow 2Cl^- + ClO_3^-$

.9

$Sb_2S_3 + NO_3^- \xrightarrow{H^+} Sb_2O_5 + S + NO$

الجواب النهائي :

$10H^+ + 10NO_3^- + 3Sb_2S_3 \longrightarrow 10NO + 5H_2O + 3Sb_2O_5 + 9S$

.10

$Pb + PbO_2 + H_2SO_4 \xrightarrow{H^+} PbSO_4$

الجواب النهائي :

$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

.11

$ICl \xrightarrow{H^+} IO_3^- + I_2 + Cl^-$

الجواب النهائي :

$3H_2O + 5ICl \longrightarrow IO_3^- + 5Cl^- + 6H^+ + 2I_2$

.12

$Al + NO_3^- \xrightarrow{OH^-} AlO_2^- + NH_3$

الجواب النهائي :

$8Al + 3NO_3^- + 2H_2O + 5OH^- \longrightarrow 8AlO_2^- + 3NH_3$

13.

$Pb(OH)_3^- + ClO^- \xrightarrow{OH^-} PbO_2 + Cl^-$

الجواب النهائي :

$Pb(OH)_3^- + ClO^- \longrightarrow PbO_2 + Cl^- + H_2O + OH^-$

14.

$P_4 \xrightarrow{H^+} PH_3 + H_2PO_2^-$

الجواب النهائي :

$P_4 + 6H_2O \longrightarrow PH_3 + 3H_2PO_2^- + 3H^+$

15.

$Zn + NO_3^- \xrightarrow{H^+} Zn(OH)_4^{-2} + NH_3$

الجواب النهائي :

$13H_2O + 4Zn + NO_3^- \longrightarrow 4Zn(OH)_4^{-2} + 7H^+ + NH_3$

16.

$HSO_2NH_2 + NO_3^- \xrightarrow{H^+} N_2O + SO_4^{-2}$

الجواب النهائي :

$6NO_3^- + 4HSO_2NH_2 \longrightarrow 5N_2O + 5H_2O + 4SO_4^{-2} + 2H^+$

17.

$CH_3OH + Cr_2O_7^{-2} \xrightarrow{H^+} H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + Cr^{+3}$

الجواب النهائي :

$3CH_3OH + 2Cr_2O_7^{-2} + 16H^+ \longrightarrow 3H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + 4Cr^{+3} + 11H_2O$

- **ملاحظات مهمة :**

1. إذا طلب في السؤال عدد الالكترونات المفقودة في نصف التأكسد نأخذها من نصف التأكسد قبل توحيد الالكترونات في الأنصاف (عدد الالكترونات أو عدد مولات الالكترونات نفس المعنى) .

2. إذا طلب في السؤال عدد الالكترونات (عدد مولات الالكترونات) المكتسبة في نصف الاختزال نأخذها من نصف الاختزال قبل توحيد الإلكترونات في الأنصاف .

3. إذا طلب في السؤال عدد الالكترونات (عدد مولات الالكترونات) المفقودة في التفاعل الكلي / المكتسبة في التفاعل الكلي / المفقودة أو المكتسبة في التفاعل ، يكون الجواب عدد الالكترونات بعد توحيدها (مساواتها في الأنصاف) يعني التي نشطبها عند جمع الأنصاف .

سؤال 1 :

كم عدد الالكترونات المفقودة عند تحوّل P_4 إلى PO_4^{-3} ؟

الحل :

$P_4 + 16H_2O \longrightarrow 4PO_4^{-3} + 32H^+ + 20e^-$

الجواب : $20\ e^-$

سؤال 2 :

كم التغير في عدد التأكسد لدى تحوّل P_4 إلى PO_4^{-3} ؟

الحل : زيادة بمقدار 5 من (صفر إلى +5)

سؤال 3 :

كم عدد e^- المفقودة عند تحول P_4 إلى $H_2PO_2^-$ ؟

$P_4 + 8H_2O \longrightarrow 4H_2PO_2^- + 8H^+ + 4e^-$

الجواب : $4e^-$

سؤال 4 :

كم عدد الالكترونات المكتسبة عند تحول N_2 إلى NH_4^+ ؟

$N_4 + 8H^+ + 6e^- \longrightarrow 2NH_4^+$

الجواب : $6e^-$

سؤال 5:

كم عدد الالكترونات المكتسبة عند تحول As_4O_6 إلى As ؟

$As_4O_6 + 12H^+ + 12e^- \longrightarrow 4As + 6H_2O$

الجواب : $12e^-$

مراجعةُ الدرس

1- **الفكرة الرئيسة:** تفاعلا التأكسد والاختزال متلازمان، يحدثان دائمًا معًا، **أُفَسِّر** ذلك.

2- **أُوَضِّحُ** المقصودُ بكلٍّ من: أ. عدد التأكسد ب. التأكسد والاختزال الذاتي

3- **أحسِبُ** عدد تأكسد العنصر الذي تحته خط:

$\underline{Ba}O_2$ ، $H_2\underline{P}O_4^-$ ، $LiAl\underline{H}_4$ ، $K_2\underline{Sn}O_2$ ، $NaBiO_3$ ، $\underline{N}_2O_4$

4- **أُطَبِّقُ:** أُحَدِّدُ الذرات التي تأكسدت والتي اختُزلت في التفاعلات الآتية:

1- $2HNO_{3(aq)} + 6HI_{(aq)} \rightarrow 2NO_{(g)} + 3I_{2(aq)} + 4H_2O_{(l)}$

2- $2K_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \rightarrow 2KOH_{(aq)} + H_{2(g)}$

5- **أُطَبِّقُ:** أدرسُ المعادلة الموزونة التي تمثِّلُ تفاعل N_2O_4 مع N_2H_4 لتكوين غاز N_2 وبخار الماء، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:

$$N_2O_{4(l)} + 2N_2H_{4(l)} \rightarrow 3N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$$

أ) أُحَدِّدُ التغيُّرَ في أعداد تأكسد ذرّات النيتروجين في التفاعل.

ب) هل تمثِّلُ المعادلةُ تفاعلَ تأكسد واختزال ذاتي؟

جـ) أُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المُختزل في التفاعل.

6- أُحَدِّدُ المادة التي يمكن أن تسلك عاملًا مؤكسدًا والمادة التي يمكن أن تسلك عاملًا مُختزلًا:

H^+ ، Br^- ، Na^+ ، F_2 ، H^- ، Cu

7- أُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المُختزل في التفاعل الآتي:

$$6Fe^{2+}_{(aq)} + Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)} + 14H^+_{(aq)} \rightarrow 6Fe^{3+}_{(aq)} + 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$$

8- **أُطَبِّقُ.** أُوازنُ أنصافَ التفاعلات الآتية بطريقة نصف التفاعل، وَأُحَدِّدُ ما إذا كانت المادة تمثِّلُ عاملًا مؤكسدًا أم عاملًا مُختزلًا:

1- $HSO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow SO_4^{2-}{}_{(aq)}$ (الوسط الحمضي)

2- $CrO_4^{2-}{}_{(aq)} \rightarrow Cr(OH)_{3(aq)}$ (الوسط القاعدي)

9- **أُطَبِّقُ:** أُوازنُ معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وَأُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المُختزل في كلٍّ منها:

1- $Cr_2O_{3(s)} + NO_3^-{}_{(aq)} \xrightarrow{OH^-} CrO_4^{2-}{}_{(aq)} + NO_2^-{}_{(g)}$

2- $Zn_{(s)} + HgO_{(s)} \xrightarrow{OH^-} ZnO_2^{2-}{}_{(aq)} + Hg_{(l)}$

3- $BiO_3^-{}_{(aq)} + Mn^{2+}_{(aq)} \xrightarrow{H^+} Bi^{3+}_{(aq)} + MnO_4^-{}_{(aq)}$

4- $Pb(OH)_4^{2-}{}_{(aq)} + ClO^-_{(aq)} \xrightarrow{OH^-} PbO_{2(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

5- $ICl_{(aq)} \xrightarrow{H^+} IO_3^-{}_{(aq)} + I_{2(aq)} + Cl^-_{(aq)}$

6- $Sb_2S_{3(s)} + NO_3^-{}_{(aq)} \xrightarrow{H^+} Sb_2O_{3(s)} + S_{(s)} + NO_{(g)}$

• حل مراجعة الدرس الأول :

1. لأن حتى يحدث تفاعل التأكسد لابد من وجود عامل مؤكسد يتسبب في حدوث عملية التأكسد ويكتسب الالكترونات التي يفقدها العامل المختزل الذي تسبب في اختزال العامل المؤكسد .

2.

أ) عدد التأكسد : الشحنة الفعلية لأيون الذرة ، والشحنة التي تكتسبها الذرة المكوّنة للرابطة التساهمية مع ذرة أخرى فيما لو انتقلت إلكترونات الرابطة كلياً إلى الذرة الأعلى سالبية كهربائية .

ب) التأكسد والاختزال الذاتي : سلوك المادة كعامل مؤكسد وكعامل مختزل في التفاعل نفسه .

3.

BaO_2	$H_2PO_4^-$	$LiAlH_4$	K_2SnO_2	$NaBiO_3$	N_2O_4
-1	+5	-1	+2	+5	+4

4.

1. N : اختزال ، قلّ عدد التأكسد (من +5 إلى +2)
   I : تاكسد ، زاد عدد التأكسد (من -1 إلى 0)

2. K : تاكسد ، زاد عدد التأكسد (من 0 إلى +1)
   H : اختزال ، قل عدد التأكسد (من +1 إلى 0)

5.

أ) تغيّر عدد تأكسد ذرة الهيدروجين في N_2O_4 (من +4 إلى 0) في N_2 أي قلّ بمقدار 4 .

ب) لا لأن التأكسد والاختزال حدثا لذرتي نيتروجين في مركبين مختلفين .

ج)

N_2O_4 : عامل مؤكسد

N_2H_4 : عامل مختزل

6.

المواد التي يمكن أن تسلك كعوامل مؤكسدة :

F_2 , Na^+ , H^+

المواد التي يمكن أن تسلك كعوامل مختزلة :

Br^- , H^- , Cu

7.

$Cr_2O_7^{-2}$: عامل مؤكسد .

Fe^{+2} : عامل مختزل

8.

$HSO_3^- + H_2O \longrightarrow SO_4^{-2} + 3H^+ + 2e^-$

عامل مختزل

$CrO_4^{-2} + 4H_2O + 3e^- \longrightarrow Cr(OH)_3 + 5OH^-$

عامل مؤكسد

9.

ملاحظة : يجب أن يحل الطالب بشكل تفصيلي ولكن أنا سأعطيك الجواب النهائي للموازنة .

1.

$Cr_2O_3 + 3NO_3^- + 4OH^- \longrightarrow 2CrO_4^{-2} + 3NO_2^- + 2H_2O$

العامل المؤكسد : NO_3^-

العامل المختزل : Cr_2O_3

2.

$Zn + HgO + 2OH^- \longrightarrow ZnO_2^{-2} + Hg + H_2O$

العامل المؤكسد : HgO

العامل المختزل : Zn

3.

$$5BiO_3^- + 2Mn^{+2} + 14H^+ \longrightarrow 5Bi^{+3} + 2MnO_4^- + 7H_2O$$

العامل المؤكسد : BiO_3^-

العامل المختزل : Mn^{+2}

4.

$$Pb(OH)_4^{-2} + ClO^- \longrightarrow PbO_2 + Cl^- + H_2O + 2OH^-$$

العامل المؤكسد : ClO^-

العامل المختزل : $Pb(OH)_4^{-2}$

5.

$$5ICl + 3H_2O \longrightarrow IO_3^- + 2I_2 + 5Cl^- + 6H^+$$

العامل المؤكسد : ICl

العامل المختزل : ICl

تاكسد واختزال ذاتي .

6.

$$2b_2S_3 + 2NO_3^- + 2H^+ \longrightarrow Sb_2O_3 + 3S + 2NO + H_2O$$

العامل المؤكسد : NO_3^-

العامل المختزل : Sb_2S_3

الدرس الثاني : الخلايا الجلفانية

■ الفكرة الرئيسية :

تتحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية في الخلية الجلفانية من خلال تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث ، ويعتمد فرق الجهد الناتج على جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المكوّنة لها .

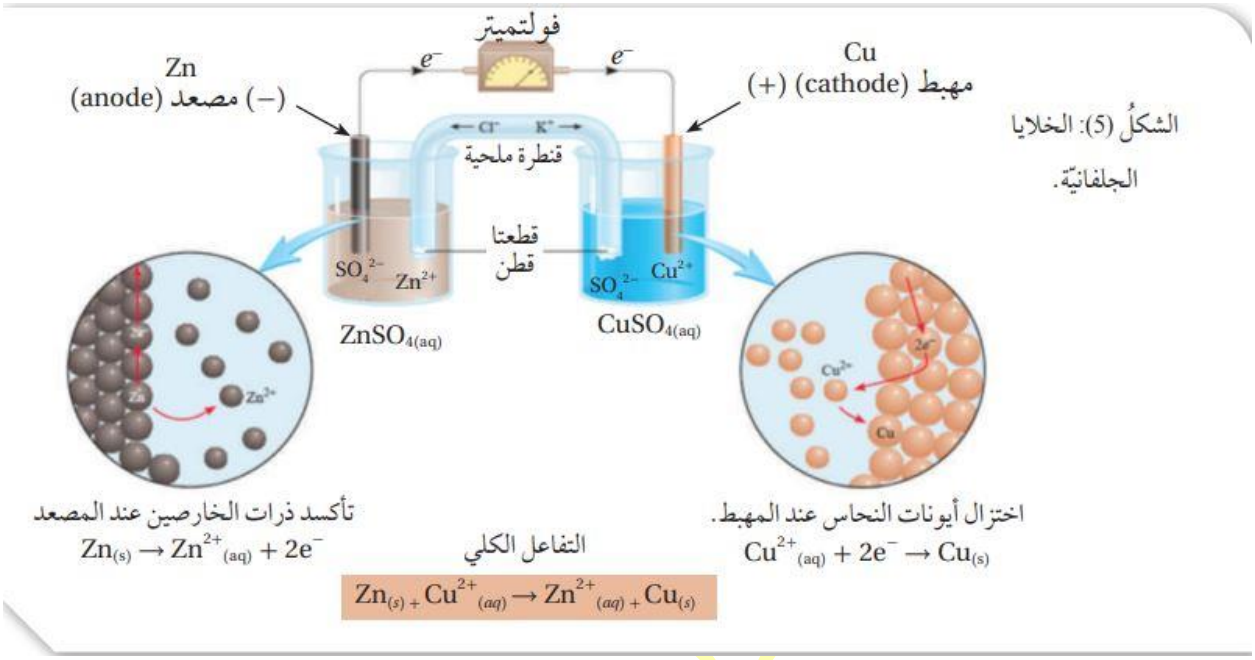
- تسمى الخلايا التي تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها الخلايا الكهركيميائية ، وتقسم إلى نوعين :
  1. الخلايا الجلفانية
  2. خلايا التحليل الكهربائي .

وفي هذا الدرس سوف ندرس الخلايا الجلفانية .

- تستخدم الخلايا الجلفانية في مجالات واسعة في الحياة فالبطاريات بأنواعها ، كالبطاريات القابلة للشحن التي تستخدم في الهواتف الخلوية والحواسيب المحمولة ، وخلايا الوقود هي خلايا جلفانية تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تؤدي إلى إنتاج تيار كهربائي ؛ أي تتحول الطاقة الكيميائية فيها إلى طاقة كهربائية .

سؤال : ما تحولات الطاقة في الخلايا الجلفانية ؟

من طاقة كيميائية إلى طاقة كهربائية .



الشكلُ (5): الخلايا الجلفانيّة.

■ كيمياء الخلايا الجلفانية :

تتكوّن الخلية الجلفانية من وعاءين ، يسمى كلٌ منهما نصف خلية ، ويحتوي كل وعاء على صفيحة فلزية مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الفلز ؛

فنصف خلية الخارصين تتكون من صفيحة Zn مغموسة في محلول يحتوي على أيونات الخارصين Zn^{+2} ، مثل محلول كبريتات الخارصين $ZnSO_4$ ويعبر عنها بالرمز (Zn^{+2} | Zn) ،

أما نصف خلية النحاس فتتكون من صفيحة نحاس Cu مغموسة في محلول يحتوي على أيونات النحاس Cu^{+2} ، مثل محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$ ، ويعبر عنها بالرمز

(Cu^{+2}| Cu) .

ولتكوين خلية جلفانية منها توصل الأقطاب بموصل خارجي (الأسلاك) وتوصل المحاليل بموصل أخر هو القنطرة الملحية ، التي تتكون من أنبوب على شكل حرف U يحتوي على محلول ملحي مشبع ، لا تتفاعل أيوناته مع الأيونات الموجودة في نصفي الخلية الجلفانية أو مع الأقطاب فيها ، مثل KCl ، ويستخدم جهاز فولتميتر لقياس فرق الجهد بين قطبي الخلية .

عند تركيب الخلية الجلفانية يلاحظ انحراف مؤشر الفولتميتر باتجاه قطب النحاس بسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال ؛ حيث تتأكسد ذرات الخارصين حسب المعادلة :

$$Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

وتنتقل الإلكترونات من قطب الخارصين Zn عبر الأسلاك إلى قطب النحاس Cu ؛ حيث تكتسبها أيونات النحاس Cu^{+2} وتختزل متحوّلة إلى ذرات تترسب على قطب النحاس ، حسب المعادلة :

$$Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(S)}$$

ونتيجة تأكسد ذرات الخارصين وتحوّلها إلى أيونات الخارصين Zn^+ يزداد تركيزها في نصف الخلية الخارصين مقارنة بتركيز أيونات الكبريت السالبة SO_4^{-2} فيها ،

وكذلك الحال في نصف خلية النحاس ؛ إذ يقل تركيز أيونات النحاس الموجبة Cu^{+2} مقارنة بتركيز أيونات الكبريتات السالبة SO_4^{-2} بسبب اختزالها ، ويؤدي هذا إلى عدم اتزان كهربائي في نصفي الخلية ؛ لذا تعادل القنطرة الملحية الشحنات الكهربائية في نصفي الخلية ؛ حيث تتحرك أيونات الكلوريد السالبة من القنطرة الملحية إلى نصف خلية الخارصين (نصف خلية المصعد) لمعادلة الزيادة في تركيز أيونات Zn^{+2} ، وتتحرك أيونات K^+ الموجبة إلى نصف خلية النحاس لمعادلة أيونات SO_4^{-2} الزائدة .

- **الخلية الكهركيميائية :** أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية منتجة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها .
- **الخلايا الجلفانية :** أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال تلقائية منتجة للطاقة الكهربائية .
- **نصف الخلية :** جزء من الخلية الجلفانية يحدث فيها نصف تفاعل تأكسد أو نصف تفاعل اختزال .
- **القنطرة الملحية :** أنبوب زجاجي على شكل حرف U يحتوي على محلول مشبع لأحد الأملاح يصل بين نصفي الخلية ويحافظ على شحناتها الكهربائية .
- **المصعد (في الخلية الجلفانية) :** هو القطب السالب في الخلية الجلفانية وتحدث عنده عملية التأكسد حيث تتأكسد بعض ذراته وتتحوّل إلى أيونات موجبة في المحلول .

معلومات عند المصعد في الخلية الجلفانية :

1. شحنته سالبة لأنه مصدر الإلكترونات بسبب تأكسد ذراته .
2. تقل كتلته بمرور الزمن بسبب تآكل (تأكسد بعض ذراته) .
3. يزداد تركيز أيوناته الموجبة في المحلول .

- **المهبط (في الخلية الخلفانية):** هو القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال حيث تختزل أيوناته في المحلول وتتحوّل إلى ذرات تترسب على سطحه .

معلومات عن المهبط في الخلية الجلفانية :

1. يقل تركيز أيوناته في المحلول .
2. تزداد كتلته مع مرور الزمن بسبب اختزال أيوناته من المحلول وتحوّلها إلى ذرات تترسب على سطحه .

ملاحظة :

1. تتحرك الإلكترونات السالبة عبر الأسلاك (الدارة الخارجية) من قطب المصعد إلى قطب المهبط .
2. تتحرك الأيونات السالبة في القنطرة الملحية نحو وعاء المصعد بينما تتحرك الأيونات الموجبة في القنطرة نحو وعاء المهبط وذلك لحفظ التوازن الكهربائي في نصفي الخلية .

أما المعادلة الكلية في الخلية الجلفانية فهي مجموع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال :

$$Zn_{(S)} + Cu^{+2}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + Cu_{(S)}$$

وقد عبّر الكيميائيون عن الخلية الجلفانية بطريقة مختصرة وسهلة لوصفها :

$$Zn_{(S)} \mid Zn^{+2}_{(aq)} \parallel Cu^{+2}_{(aq)} \mid Cu_{(S)}$$

حيث يجري البدء بكتابة مكوّنات نصف خلية التأكسد من اليسار ، فتكتب المادة التي يحدث لها تأكسد أولاً ثم ناتج عملية التأكسد ويفصل بينهما خط (|) كالآتي :

$Zn_{(S)} \mid Zn^{+2}_{(aq)}$ ، ثم يرسم خطان متوازيات (||) يرمزان للقنطرة الملحية ، ثم تكتب مكونات نصف خلية الاختزال ، فتكتب المادة التي يحدث لها اختزال ، ثم ناتج عملية الاختزال ويفصل بينهما خط (|) كالآتي : $Cu^{+2}_{(aq)} \mid Cu_{(S)}$

المثال 18 :

خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الخارصين

$Zn_{(S)} \mid Zn^{+2}_{(aq)}$ ونص خلية النيكل $Ni \mid Ni^{+2}$ ، كان قطب الخارصين Zn شحنته سالبة :

1. حدد المصعد والمهبط في الخلية ؟

الحل : Zn : مصعد / Ni : مهبط

2. أحدد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك ؟

الحل : من قطب الخارصين Zn إلى قطب النيكل Ni .

3. أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال ؟

الحل : نصف تفاعل التأكسد :

$$Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

نصف تفاعل الاختزال :

$$Ni^{+2}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Ni_{(S)}$$

4. أحدد اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة عبر القنطرة الملحية ؟

الحل : تتحرك الأيونات السالبة باتجاه نصف خلية الخارصين Zn

وتتحرك الأيونات الموجبة نحو نصف خلية النيكل Ni

5. ما التغير في كتلة كل من قطبي النيكل والخارصين ؟

الحل : قطب الخارصين تقل كتلته نتيجة تأكسد ذراته وتحوّلها إلى أيونات Zn^{+2} تنتقل إلى المحلول .

قطب النيكل تزداد كتلته نتيجة اختزال أيوناته Ni^{+2} وترسبها على القطب .

أتحقق :

في الخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي :

$$Cr_{(S)} + 3Ag^+_{(aq)} \longrightarrow Cr^{+3}_{(aq)} + 3Ag_{(S)}$$

1. أكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال ؟

الحل : نصف تفاعل التأكسد :

$$Cr \longrightarrow Cr^{+3} + 3e^-$$

نصف تفاعل الاختزال :

$3Ag^{+} + 3e^{-} \longrightarrow 3Ag$

2. أحدد كلاً من المصعد والمهبط واتجاه حركة الإلكترونات في الدارة الخارجية :

الحل : المهبط : Ag / المصعد :Cr

وتتحرك الالكترونات من قطب المصعد Cr إلى قطب المهبط Ag عبر الدارة الخارجية .

3. أحدد حركة الأيونات السالبة عبر القنطرة ؟

الحل : نحو نصف خلية المصعد (نصف خلية Cr)

4. ما القطب الذي تزداد كتلته ؟ ولماذا ؟

الحل : تزداد كتلة قطب Ag بسبب اختزال أيونات Ag^{+} وتحوّلها إلى ذرات وترسبها عليه .

5. أكتب رمز الخلية الجلفانية ؟

الحل : $Cr_{(s)} \mid Cr^{+3}_{(aq)} \mid\mid Ag^{+}_{(aq)} \mid Ag_{(s)}$

■ جهد الخلية الجلفانية :

يعدّ جهد الخلية الجلفانية مقياساً لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي ، ويقاس بالفولت ، وهو القوة الدافعة الكهربائية المتولّدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بين القطبين ، الذي يزداد بزيادة ميل لكل من نصفي تفاعل التأكسد والاختزال للحدوث ، وبالرجوع إلى الخلية (Zn – Cu) ، ولما كان الخارصين أكثر نشاطاً من النحاس بناءاً على سلسلة النشاط الكيميائي ، فهو أكثر ميلاً للتأكسد من النحاس ؛ مما يوّلد قوة دافعة كهربائية تدفع الالكترونات إلى الحركة من قطب الخارصين Zn (المصعد) إلى قطب النحاس Cu (المهبط) ؛ حيث أيونات النحاس Cu^{+2} أكثر ميلاً للاختزال .

يعبّر عن ميل نصف الاختزال للحدوث بجهد الاختزال ، ويرمز له بالرمز :

$E_{reduction}$

ويعبّر عن ميل نصف التأكسد للحدوث بجهد التأكسد ، ويرمز له بالرمز :

$E_{oxidation}$

تمتلك نصف الخلية التي يحدث فيها تفاعل الاختزال جهد اختزال أعلى من نصف الخلية التي يحدث فيها تفاعل التأكسد ، والفرق بين جهود الاختزال لكلا التفاعلين يساوي جهد الخلية .

جهد الخلية = جهد نصف تفاعل المهبط – جهد نصف تفاعل المصعد

$$E_{cell} = E_{reduction\ Cathode} - E_{reduction\ anode}$$

أما عندما يقاس جهد الخلية في الظروف المعيارية : درجة حرارة 25°c ، وتركيز أيونات 1 M ، وضغط غاز يساوي 1atm ، فيسمى جهد الخلية المعياري ويرمز له :

E°_{cell}

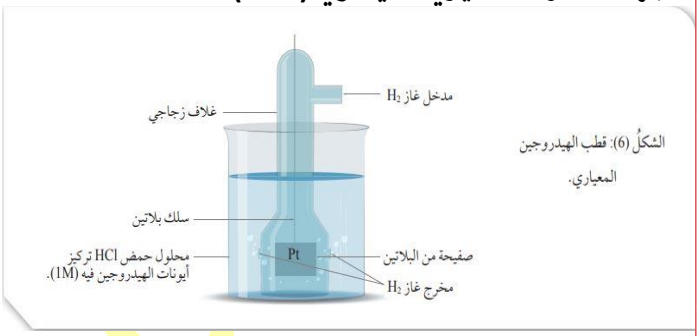
وتصبح معادلة حساب جهد الخلية المعيارية :

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{reduction\ Cathode} - E^{\circ}_{reduction\ anode}$$

وقد وجد أن جهد الخلية (Zn – Cu) المعيارية يساوي 1.1 فولت (1.1 V) .

■ جهد الخلية المعياري :

لا يمكن قياس جهد نصف خلية منفردة ، ولكن عند وصل نصفي خلية لتكوين خلية جلفانية ، يمكن قياس فرق الجهد بينهما أي جهد الخلية ؛ لذلك اختار العلماء قطب مرجعي هو قطب الهيدروجين المعياري لقياس جهود اختزال أقطاب العناصر الأخرى ، وجرى اختيار الهيدروجين لأن نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر ، وقد اصطلح العلماء على أن جهد الاختزال المعياري له يساوي (0 V) .



الشكل (6): قطب الهيدروجين المعياري.

قطب الهيدروجين المعياري : قطب مرجعي استخدم لقياس جهود الاختزال المعيارية لأقطاب الخلايا الجلفانية في الظروف المعيارية : وهي ضغط الغاز 1atm ، درجة الحرارة 25° c ، وتركيز الأيونات H^+ يساوي 1 M .

يتكون قطب الهيدروجين المعياري من وعاء يحتوي على صفيحة من البلاتين توفر سطح لحدوث التفاعل وتكون مغموسة في محلول حمض الهيدروكلوريك HCl تركيز أيونات الهيدروجين H^+ فيه 1 M .

ويجري ضخ غاز الهيدروجين إلى المحلول عند ضغط الغاز يساوي 1 ضغط جوي (1atm) ودرجة حرارة 25°c ، أنظر الشكل 6 .

يمكن تمثيل التفاعل الذي يحدث في نصف خلية الهيدروجين بالمعادلة :

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)} \qquad E° = 0\ V$$

يشير السهم المزدوج إلى أن نصف التفاعل منعكس ؛ إذ يمكن لأيونات الهيدروجين H^+ أن تختزل ، كما يمكن لجزيئات غاز الهيدروجين أن تتأكسد .

ولكن كيف يقاس جهد الاختزال المعياري لنصف خلية ما باستخدام قطب الهيدروجين المعياري ؟

لتوضيح ذلك ، تكوّن خلية جلفانية من نصف خلية الهيدروجين ونصف خلية الخارصين مثلاً في الظروف المعيارية يلاحظ أن قراءة الفولتميتر (0.76 V) وهي قراءة تمثل فرق الجهد بي قطبي الخارصين والهيدروجين المعياريين ، ولكي يحدد جهة الاختزال المعياري للخارصين يجب تحديد المصعد والمهبط في الخلية ؛ حيث يلاحظ أن اتجاه حركة الالكترونات من قطب الخارصين المعياري باتجاه قطب الهيدروجين المعياري أن مؤشر الافولتميتر ينحرف نحو قطب الهيدروجين المعياري ، أي أن قطب الخارصين Zn يمثل المصعد وحدثت له عملية تأكسد حسب المعادلة :

$$Zn_{(S)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

بينما قطب الهيدروجين يمثل المهبط وحدثت له عملية اختزال لأيوناته حسب المعادلة :

نصف تفاعل الاختزال :

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} \qquad E°H_2 = 0\ Volt$$

المعادلة الكلية :

$$Zn_{(S)} + 2H^+_{(aq)} \longrightarrow Zn^{+2}_{(aq)} + H_{2(g)} \qquad E°_{Cell} = 0.76\ V$$

لحساب جهد الاختزال المعياري للخارصين تستخدم العلاقة :

$$E°_{Cell} = E°_{Cathode} - E°_{anode}$$

$$0.76\ V = 0 - E°_{anode}$$

$$E°_{Zn} = -0.76\ V$$

أي ان جهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين تساوي (- 0.76 V) .

القيمة السالبة لجهد الاختزال المعياري لقطب الخارصين تعني أن أيونات الخارصين أقل ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين ؛ لذلك اختزلت أيونات الهيدروجين وتأكسدت ذرات الخارصين في التفاعل الذي حدث في الخلية الجلفانية .

- **جهد الاختزال المعياري للقطب :** مقياس لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعيارية .
- **جهد الخلية المعياري :** مقياس لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي ، وهو القوة الدافعة الكهربائية المتولّدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بينهما في الظروف المعيارية ويقاس بالفولت .

وكذلك فإن ذرات الخارصين أكثر ميلاً للتأكسد من جزيئات الهيدروجين ؛ لذلك فإن جهد التأكسد المعياري للخارصين يساوي (0.76 V) ؛ أي أن جهد التأكسد المعياري للقطب يساوي جهد اختزاله المعياري ويعاكسه في الإشارة :

جهد التأكسد المعياري = $-E^{\circ}_{reduction}$

المثال 19 (كتاب) :

في الخلية الجلفانية الممثلة بالرمز الآتي :

$Pt \mid H_{2(g)} \mid 2H^{+}_{(aq)} \parallel Cu^{+2}_{(aq)} \mid Cu_{(S)}$

إذا علمت أن جهد الخلية المعياري :

$E^{\circ}_{Cell} = 0.34\ V$

فاحسب جهد الاختزال المعياري للنحاس ؟

الحل :

قطب الهيدروجين المعياري يمثل نصف خلية التأكسد ، نصف تفاعل التأكسد :

$H_{2(g)} \longrightarrow 2H^{+}_{(aq)} + 2e^{-}$

نصف تفاعل الاختزال :

$Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow Cu_{(S)}$

قطب النحاس يمثل نصف خلية الاختزال .

المعادلة الكلية :

$H_{2(g)} + Cu^{+2}_{(aq)} \longrightarrow 2H^{+}_{(aq)} + Cu_{(S)}$

$E^{\circ}_{Cell} = E^{\circ}_{Cathode} - E^{\circ}_{anode}$

$0.34\ V = E^{\circ}_{Cu} - 0$

$E^{\circ}_{Cu} = 0.34\ V$

جهد الاختزال المعياري للنحاس = + 0.34

أتحقق :

خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الهيدروجين $Pt \mid H_2 \mid 2H^{+}$ ، ونصف خلية الكادميوم $Cd \mid Cd^{+2}$ ، المعياريين ، احسب جهد الاختزال المعياري للكادميوم إذا علمت أن جهد الخلية المعياري 0.4 V ونقصت كتلة قطب الكادميوم بعد تشغيل الخلية لفترة من الزمن .

الحل :

المعادلة الكلية :

$Cd + 2H^{+} \longrightarrow Cd^{+2} + H_2$

$E^{\circ}_{Cell} = E^{\circ}_{Cathode} - E^{\circ}_{anode}$

$0.4 = 0 - E^{\circ}_{anode\ /Cd}$

$E^{\circ}_{Cd} = -0.4\ V$

■ جدول جهود الاختزال المعيارية :

استخدام قطب الهيدروجين المعياري في بناء خلايا جلفانية متعددة ، ومن خلال قياس جهودها المعيارية حسبت جهود الاختزال المعيارية للأقطاب المختلفة التي استخدمت فيها ، واتفق الكيميائيون على كتابة أنصاف التفاعلات عل شكل أنصاف تفاعل اختزال في الاتجاه الأمامي وترتيبها وفقاً لتزايد جهود الاختزال المعيارية في جدول يسمى جدول جهود الاختزال المعيارية .

الجدول (2): جهود الاختزال المعياريّة عند درجة حرارة 25°C.

نصف تفاعل الاختزال							E° (V)
$Li^+_{(aq)}$		+	e^-	⇌		$Li_{(s)}$	−3.05
$K^+_{(aq)}$		+	e^-	⇌		$K_{(s)}$	−2.92
$Ca^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Ca_{(s)}$	−2.76
$Na^+_{(aq)}$		+	e^-	⇌		$Na_{(s)}$	−2.71
$Mg^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Mg_{(s)}$	−2.37
$Al^{3+}_{(aq)}$		+	$3e^-$	⇌		$Al_{(s)}$	−1.66
$Mn^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Mn_{(s)}$	−1.18
$2H_2O_{(l)}$		+	$2e^-$	⇌	$2OH^-$ +	$H_{2(g)}$	−0.83
$Zn^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Zn_{(s)}$	−0.76
$Cr^{3+}_{(aq)}$		+	$3e^-$	⇌		$Cr_{(s)}$	−0.73
$Fe^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Fe_{(s)}$	−0.44
$Cd^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Cd_{(s)}$	−0.40
$Co^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Co_{(s)}$	−0.28
$Ni^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Ni_{(s)}$	−0.23
$Sn^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Sn_{(s)}$	−0.14
$Pb^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Pb_{(s)}$	−0.13
$Fe^{3+}_{(aq)}$		+	$3e^-$	⇌		$Fe_{(s)}$	−0.04
$2H^+_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$H_{2(g)}$	0.00
$Cu^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Cu_{(s)}$	0.34
$I_{2(s)}$		+	$2e^-$	⇌		$2I^-_{(aq)}$	0.54
$Fe^{3+}_{(aq)}$		+	e^-	⇌		$Fe^{2+}_{(aq)}$	0.77
$Ag^+_{(aq)}$		+	e^-	⇌		$Ag_{(s)}$	0.80
$Hg^{2+}_{(aq)}$		+	$2e^-$	⇌		$Hg_{(l)}$	0.85
$Br_{2(l)}$		+	$2e^-$	⇌		$2Br^-_{(aq)}$	1.07
$O_{2(g)}$	$+ 4H^+$	+	$4e^-$	⇌		$2H_2O_{(l)}$	1.23
$Cr_2O_7^{2-}{}_{(aq)}$	$+ 14H^+$	+	$6e^-$	⇌	$7H_2O_{(l)}$ +	$2Cr^{3+}_{(aq)}$	1.33
$Cl_{2(g)}$		+	$2e^-$	⇌		$2Cl^-_{(aq)}$	1.36
$Au^{3+}_{(aq)}$		+	$3e^-$	⇌		$Au_{(s)}$	1.5
$MnO_4^-{}_{(aq)}$	$+ 8H^+$	+	$5e^-$	⇌	$4H_2O_{(l)}$ +	$Mn^{2+}_{(aq)}$	1.51
$F_{2(g)}$		+	$2e^-$	⇌		$2F^-_{(aq)}$	2.87

تزداد قوة العوامل المؤكسدة

تزداد قوة العوامل المختزلة

ألاحظ أن أنصاف تفاعلات الاختزال منعكسة ، ومن ثم فإن المواد على يسار المعادلة تمثل عوامل مؤكسدة تحدث لها عملية اختزال ، بينما تمثل المواد على يمين المعادلة عوامل مختزلة تحدث لها عملية تأكسد ، كما أنّ جهود الاختزال تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول ، يستفاد من جدول جهود الاختزال المعيارية في حساب جهد الخلية المعياري ، والتنبؤ بتلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال ، إضافة إلى مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة .

أ) حساب جهد الخلية المعياري :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{reduction\ Cathode\ (مهبط)} - E^\circ_{reduction\ anode\ (مصعد)}$$

E°خلية = E°اختزال المهبط (الأعلى) - E°اختزال المصعد (الأدنى)

E° خلية دائما قيمتها موجبة لأن التفاعل في الخلية الجلفانية دائما تلقائي .

المثال (20) كتاب :

احسب جهد الخلية المعياري للخلية الجلفانية التي يحدث فيها التفاعل الآتي :

$$Co^{+2} + Fe \longrightarrow Co + Fe^{+2}$$

الحل :

Co : مهبط Cathode

Fe: مصعد anode

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = -0.28 - (-0.44) = +0.16\ V$$

المثال (21) كتاب :

خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الفضة $Ag^+ \mid Ag$ ونصف خلية المغنيسيوم $Mg^{+2} \mid Mg$ في الظروف المعيارية بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية لكل منهما في الجدول (2) ، أكتب المعادلة الموزونة للتفاعل وأحسب جهد الخلية المعياري .

الحل :

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

$E^\circ_{Mg} = -2.37\ V$ anode (مصعد)

$$Ag^+ + 1e^- \rightleftharpoons Ag$$

$E^\circ_{Ag} = +0.80\ V$ Cathode (مهبط)

ملاحظة : لكتابة المعادلة الموازنة المهبط يبقى كما هو (اختزال) والمصعد بنشقلبه تاكسد ثم نساوي الالكترونات في الانصاف ثم نجمع الانصاف .

$Mg \longrightarrow Mg^{+2} + 2e^-$ تاكسد (مصعد)

$2Ag^+ + 2e^- \longrightarrow 2Ag$ اختزال (مهبط)

$$Mg + 2Ag^+ \longrightarrow Mg^{+2} + 2Ag$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = 0.80 - (-2.37) = +3.17\ V$$

ملاحظة : جهد الاختزال المعياري من الخواص النوعية للمادة لذلك لا يتأثر عند ضرب نصف الاختزال بأي عدد (أي أنه يعتمد على نوع المادة وليس على كميّتها [عدد مولاتها])

أتحقق :

خلية جلفانية مكوّنة من نصف خلية الكروم $Cr \mid Cr^{+3}$ ونصف خلية النحاس $Cu \mid Cu^{+2}$ المعياريين ، بالرجوع للجدول 2 احسب جهد الخلية المعياري .

الحل :

Cu : Cathode مهبط

Cr : anode مصعد

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = 0.34 - (-0.73) = +1.07\ V$$

ب) التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال :

تتفاعل بعض الفلزات مع محلول حمض الهيدروكلوريك المخفف فينطلق غاز الهيدروجين ، بينما لا يتفاعل بعضها الأخر ، ومثال ذلك تفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك وإطلاق غاز الهيدروجين أما النحاس فلا يتفاعل ، ويحلّ النحاس محل الفضة في محلول نترات الفضة ، بينما لا تحلّ الفضة محلّه في محلول نترات النحاس . هل يمكن استخدام جهود الاختزال المعيارية في التنبؤ بتلقائية حدوث تفاعلات التأكسد والاختزال ؟ وكيف ؟

تستخدم جهود الاختزال المعيارية للتنبؤ بتلقائية حدوث تفاعل التأكسد والاختزال ؛ فتلقائية التفاعل هي حدوث التفاعل دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإحداثة ، ويتم ذلك بحساب جهد الخلية المعياري للتفاعل ؛ فإذا كان جهد الخلية المعياري للتفاعل موجباً ، يكون التفاعل تلقائية ، أما إذا كان سالباً يكون التفاعل غير تلقائي .

تلقائية التفاعل : حدوث التفاعل ، وتكوّن النواتج دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإحداثه .

المثال (22) كتاب :

أتوقعُ ، بالاستعانة بالجدول 2 ، أي تفاعلات التأكسد والاختزال الممثلة بالمعادلات الآتية يحدث بشكل تلقائي وأفسر ذلك .

أ)

$$Pb^{+2}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Pb_{(S)} + Cl_{2(g)}$$

ب)

$$2Fe^{+3}_{(aq)} + Sn_{(aq)} \longrightarrow 2Fe^{+2}_{(aq)} + Sn^{+2}_{(S)}$$

الحل :

أ) 1. أكتب بالاستعانة بمعادلة التفاعل الكيميائية نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال .

نصف اختزال :

$$Pb^{+2}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Pb_{(S)}$$

نصف التأكسد :

$$2Cl^-_{(aq)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

2. بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية ، أجدُ أن :

جهد الاختزال المعياري للرصاص : $E^\circ_{Pb} = -0.13\ V$

جهد الاختزال المعياري للكلور : $E^\circ Cl_2 = 1.36\ V$

3. احسب جهد الخلية المعياري E°_{Cell} للتفاعل ، كما ورد في المعادلة :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = -0.13 - 1.36 = -1.49\ V$$

ألاحظ أن قيمة جهد الخلية المعياري للتفاعل سالب ؛ مما يعني أن التفاعل غير تلقائي الحدوث .

ويمكن التوصل إلى النتيجة السابقة نفسها عند مقارنة جهود الاختزال المعيارية لكل من الرصاص والكلور ؛ ألاحظ أن جهد الاختزال للكلور أكبر من جهد اختزال الرصاص ؛ أي أن ميل جزيئات الكلور للاختزال أكبر ، ومن ثمّ لا تتأكسد أيونات الكلوريد Cl^- ولا تتختزل أيونات الرصاص Pb^{+2} .

ب) 1. اكتب نصفي التأكسد والاختزال بالاستعانة بالمعادلة الكيميائية :

نصف تفاعل الاختزال :

$$2Fe^{+3} + 2e^- \longrightarrow 2Fe^{+2}$$

نصف تفاعل التأكسد :

$$Sn \longrightarrow Sn^{+2} + 2e^-$$

2. بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية ، أجدُ أن :

جهد الاختزال $Fe^{+3} \mid Fe^{+2}$ 0.77 V

جهد الاختزال Sn - 0.14 V

3. احسب E°_{Cell} :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = -0.77 - (-0.14) = +0.91\ V$$

إذن التفاعل تلقائي الحدوث .

المثال (23) كتاب :

أفسّر : يتفاعل فلز النيكل Ni مع محلول حمض الهيدروكلوريك HCl وينطلق غاز الهيدروجين ؟

الحل :

1. أكتب معادلة أيونية تمثل تفاعل فلز النيكل مع حمض الهيدروكلوريك حسب المعادلة :

$$Ni_{(S)} + 2H^+_{(aq)} \longrightarrow Ni^{+2}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

2. أكتب ، بالاستعانة بمعادلة التفاعل السابقة نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال :

نصف تفاعل التأكسد :

$$Ni_{(S)} \longrightarrow Ni^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

نصف تفاعل الاختزال :

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)}$$

3. بالرجوع للجدول :

جهد الاختزال المعياري للنيكل : $E^\circ_{Ni} = -0.23\ V$

جهد الاختزال المعياري للهيدروجين : $E^\circ H_2 = 0.00\ V$

ألاحظ أن جهد الاختزال المعياري للهيدروجين أكبر من جهد الاختزال المعياري للنيكل ، أي أن أيونات الهيدروجين أكثر ميلاً لكسب الالكترونات من أيونات النيكل ؛ لذلك تختزل أيونات الهيدروجين وتتأكسد ذرات النيكل ويكون التفاعل تلقائياً وجهد الخلية موجباً ، كما يتضح عند حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode\ (H_2)} - E^\circ_{anode\ (Ni)}$$

$$E^\circ_{Cell} = 0.0 - (-0.23) = +0.23\ V$$

لذلك يتفاعل النيكل مع حمض الهيدروكلوريك ويتصاعد غاز الهيدروجين .

- **ملاحظة :** عندما يكون جهد اختزال الفلز سالباً فإن الفلز يتفاعل تلقائياً مع حمض الهيدروكلوريك وينطلق غاز الهيدروجين لذلك الفلز يذوب ويتآكل ويتأكسد ويتفاعل مع محلول حمض الهيدروكلوريك لذلك لا يحفظ في محلول حمض الهيدروكلوريك .
- عندما يكون جهد اختزال الفلز موجباً فإن تفاعل الفلز مع حمض الهيدروكلوريك يكون غير تلقائي .

المثال (24) كتاب :

أفسّر : لا يتفاعل فلز النحاس Cu مع حمض الهيدروكلوريك المخفف ، ولا ينطلق غاز الهيدروجين .

الحل :

1) أفترض حدوث التفاعل وأكتب معادلته :

$$Cu_{(S)} + 2H^+_{(aq)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

2) أكتب بالاستعانة بمعادلة التفاعل المفترض نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال :

نصف تفاعل التأكسد :

$$Cu_{(S)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

نصف تفاعل الاختزال ل:

$$2H^+_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)}$$

3) بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية :

جهد الاختزال المعياري للنحاس : $E°_{Cu} = 0.34\ V$

جهد الاختزال المعياري للهيدروجين : $E°H_2 = 0.00\ V$

ألاحظ أن جهد الاختزال المعياري للنحاس أكبر منه للهيدروجين ، أي أن أيونات النحاس أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الهيدروجين ؛ لذلك لا يتأكسد النحاس ولا تختزل أيونات الهيدروجين ويمكن حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل المفترض ، والتنبؤ بتلقائية حدوث التفاعل :

$$E°_{cell} = E°_{cathode} - E°_{anode}$$
$$H_2 \qquad Cu$$

$$E°_{Cell} = 0.0 - (0.34) = -0.34\ V$$

ألاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل المفترض سالب ؛ أي أن التفاعل غير تلقائي الحدوث .

ويمكن أيضاً استخدام جهود الاختزال المعياري للتنبؤ بإمكانه تفاعل الفلزات أو اللافلزات مع محاليل الأملاح ، كما في الأمثلة الآتية :

المثال (25) كتاب :

هل يمكن تحريك محلول نترات الفضة $AgNO_3$ بمعلقة من الكروم Cr ؟

الحل : شرط التحريك أن يكون التفاعل غير تلقائي ، نكتب معادلة التفاعل المفترض :

$$Cr_{(S)} + 3Ag^+_{(aq)} \longrightarrow Cr^{+3} + 3Ag_{(s)}$$

ألاحظ أن التفاعل المتوقع هو تأكسد ذرات الكروم واختزال أيونات الفضة وهذا موافق لجدول جهود الاختزال المعياري لأن جهد اختزال الفضة أكبر وميل أيونات الفضة للاختزال أكبر لذلك فإن التفاعل المفترض (المتوقع) تلقائي :

$$E°_{cell} = E°_{cathode} - E°_{anode}$$
$$Ag \qquad Cr$$

$$E°_{Cell} = 0.8 - (-0.73) = +1.53\ V$$

ألاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب ؛ أي أن التفاعل تلقائي الحدوث ، ومن ثمّ لا يمكن تحريك محلول نترات الفضة بمعلقة الكروم .

المثال (26) كتاب :

هل يمكن تحضير البروم Br_2 من محلول بروميد البوتاسيوم KBr باستخدان اليود I_2 ؟

الحل : كتابة التفاعل المتوقع :

$$2Br^-_{(aq)} + I_{2(S)} \longrightarrow 2I^-_{(aq)} + Br_{2(L)}$$

ألاحظ أن التفاعل المتوقع هو تأكسد أيونات البروميد Br^- واختزال اليود I_2 . وللحكم على إمكانية حدوث التفاعل يرجع إلى جهود الاختزال المعيارية للبروم واليود :

$E° Br_2 = 1.07\ V$ / $E° I_2 = 0.54\ V$

إذ يلاحظ أن جهد الاختزال المعياري للبروم أعلى من جهد الاختزال المعياري لليود ، ومن ثمّ فإن البروم Br_2 أكثر ميلاً للاختزال من اليود I_2 ؛ لذلك لا تتأكسد أيونات البروميد Br_2 ولا تختزل اليود I_2 ، أي أن التفاعل بينهما غير تلقائي .

ويمكن أيضاً حساب جهد الخلية المعياري للتفاعل :

$$E°_{cell} = E°_{cathode} - E°_{anode}$$
$$I_2 \qquad Br_2$$

$$E°_{Cell} = 0.54 - 1.07 = -0.53\ V$$

ألاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل سالب ؛ أي أن التفاعل غير تلقائي الحدوث ، وبالتالي لا يمكن تحضير البورم Br_2 من محلول بروميد البوتاسيوم KBr باستخدام اليود .

أتحقق :

باستخدام جدول جهود الاختزال المعيارية أجيب عن الأسئلة الآتية :

1) أتوقع : هل يمكن حفظ محلول كبريتات الحديد $FeSO_4$ في وعاء من الألمنيوم Al ؟ أبرر إجابتي .

الحل : أكتب معادلة التفاعل المتوقع بين أيونات Fe^{+2} والألمنيوم ثم احسب جهد الخلية المعياري للتفاعل :

$$2Al + 3Fe^{+2} \longrightarrow 2Al^{+3} + 3Fe$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = -0.44 - (-1.66) = 1.22 \ V$$

جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب ، أي أنه يحدث تفاعل تلقائي بينهما ، لذلك لا يمكن حفظ محلول $FeSO_4$ في وعاء من الألمنيوم .

- **ويمكن الحل بطريقة أخرى :**

وهي مقارنة جهود الاختزال المعيارية لكل من الألمنيوم (1.66 V -) والحديد (0.44 V -) جهد الاختزال المعياري للحديد أكبر ، أي أن ميل أيوناته للاختزال أكبر لذلك تؤكسد أيونات الحديد Fe^{+2} ذرات الألمنيوم وبالتالي لا يمكن حفظ محلول $FeSO_4$ في وعاء من الألمنيوم .

2) أتوقع : هل يمكن حفظ محلول نترات المغنيسيوم $Mg(NO_3)_2$ في وعاء من القصدير Sn ؟ أبرر إجابتي .

الحل : التفاعل المتوقع :

$$Sn + Mg^{+2} \longrightarrow Sn^{+2} + Mg$$

نحسب جهد الخلية المعياري للتفاعل :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = -2.37 - (-0.14) = -2.23 \ V$$

التفاعل غير تلقائي ومن ثمّ يمكن حفظ محلول نترات المغنيسيوم $Mg(NO_3)_2$ في وعاء من القصدير Sn .

الربطُ مع الحياة

يحدث أحيانا انتفاخ لعلب الأغذية؛ أحد أسباب حدوثه تفاعل الأغذيةُ الحامضيّة معَ الفِلز المُكوِن للعُلبة المحفوظةِ فيها، وينتجُ عن ذلكَ غازُ الهيدروجين؛ ممّا يتسبّب في انتفاخ العُلبة، وغالبًا ما تكون هذه التفاعلاتُ جزءًا منَ العوامل التي تُحَدِّدُ مدّةَ صلاحيّة هذه المُنتجات.

ج) مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة :

بالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية ، يتضح ان جهود الاختزال المعيارية تزداد من أعلى إلى أسفل في الجدول ؛ أي يزداد ميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث ؛ ما يعني أن قوة العوامل المؤكسدة تزداد أيضاً ، فيكون الفلور F_2 أقوى عامل مؤكسد ، بينما يكون أيون الليثيوم Li^+ أضعف عامل مؤكسد ، أما العوامل المختزلة فإن قوتها تقل بزيادة جهد الاختزال المعياري ؛ أي أن الليثيوم Li يمثل أقوى عامل مختزل بينما يمثل أيون الفلوريد F^- أضعف عامل مختزل .

المثال (27) كتاب :

أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعيارية وأرتب المواد تصاعدياً وفق قوتها كعوامل مؤكسدة في الظروف المعيارية :

Cl_2 Cd^{+2} MnO_4^- Al^{+3}

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Al^{+3} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	- 1.66
$Cd^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Cd$	- 0.40
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1.36
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{+2} + 4H_2O$	1.51

الحل :

$MnO_4^- > Cl_2 > Cd^{+2} > Al^{+3}$

المثال (28) كتاب :

أستعين بجدول جهود الاختزال المعيارية :

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	- 2.92
$Co^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Co$	- 0.28
$I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-$	0.54
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.80

1) أرتب المواد الآتية تصاعدياً وفق قوتها كعوامل مختزلة في الظروف المعيارية :

Ag , K , I^- , Co

الحل :

$K > Co > I^- > Ag$

2) هل يمكن لأيونات الكوبلت Co^{+2} أكسدة أيونات اليوريد I^- ؟ أفسّر إجابتي .

ألاحظ من الجدول أن جهد الاختزال المعياري لليود أعلى منه للكوبلت ؛ أي أن اليود أكثر ميلاً للاختزال من أيونات الكوبلت ؛ لذلك لا تؤكسد أيونات الكوبلت Co^{+2} أيونات اليوريد I^- .

المثال (29) كتاب :

أدرس جهود الاختزال المعيارية في الجدول ، ثم أجيب عن الاسئلة الآتية :

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Cr^{+3} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$	- 0.73
$Ni^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Ni$	- 0.23
$Pb^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$	- 0.13
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	+ 1.36

1) أحدد أقوى عامل مؤكسد ؟ Cl_2
2) أحدد أقوى عامل مختزل ؟ Cr
3) هل يستطيع النيكل Ni اختزال جزيئات الكلور Cl_2 ؟ أفسر إجابتي .

نعم ، معادلة التفاعل المتوقع :

$$Ni + Cl_2 \longrightarrow Ni^{+2} + 2Cl^-$$

$$E°_{cell} = E°_{cathode} - E°_{anode}$$
$$Cl_2 \qquad Ni$$

$$E°_{Cell} = 1.36 - (-0.23) = 1.59\ V$$

التفاعل تلقائي لذلك يتأكسد النيكل ويختزل جزيئات الكلور .

4) هل تستطيع أيونات الكروم Cr^{+3} أكسدة الرصاص Pb ؟ أفسّر إجابتي .

الحل : لا تستطيع ، معادلة التفاعل المتوقع :

$$2Cr^{+3} + 3Pb \longrightarrow 2Cr + 3Pb^{+2}$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode\ (Cr)} - E^\circ_{anode\ (Pb)}$$

$$E^\circ_{cell} = -0.73 - (-0.13) = -0.60\ V$$

بما أن الجهد سالب فالتفاعل غير تلقائي .

أتحقق :

نصف تفاعل الاختزال	E° (V)
$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1.33
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.80
$Sn^{+2} + 2e^- \rightleftharpoons Sn$	- 0.14
$Au^{+3} + 3e^- \rightleftharpoons Au$	1.50

1) أحدد أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل ؟

أقو عامل مؤكسد : Au^{+3}

أقوى عامل مختزل : Sn

2) أي الفلزات تختزل أيونات $Cr_2O_7^{-2}$ ولا تختزل ايونات Sn^{+2} ؟

الحل : Ag

المثال (30) :

رتب الفلزات ذوات الرموز الافتراضية : X , Y , Z وفق قوتها كعوامل مختزلة إذا علمت أن :

الفلز X يختزل أيونات Z^{+2} ولا يختزل أيونات Y^{+2}

الحل :

ترتيب الفلزات حسب قوتها كعوامل مختزلة :

$$Z < X < Y$$

التجربة 2

مقارنةُ قوّة بعض العوامل المختزلة

الموادُّ والأدوات:

شريط مغنيسيوم، حُبيبات نيكل، حُبيبات رصاص، مِسمار حديد عدد 4، 100 mL من محاليل كل من نترات المغنيسيوم $Mg(NO_3)_2$، نترات النيكل $Ni(NO_3)_2$، نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$، نترات الحديد II $Fe(NO_3)_2$، كل منه بتركيز 0.1 M، أنابيب اختبار عدد (9)، مِخبار مُدَرَّج عدد 4، ورق صنفرة، قلم تخطيط، ورق لاصق.

إرشاداتُ السلامة:

- أتبعُ إرشاداتِ السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازات.
- أتعاملُ معَ الموادِّ الكيميائيّة بحذر.

خطواتُ العمل:

1- **أُجَرِّب.** أقيسُ 12 cm من شريط المغنيسيوم، وأنظفُهُ جيّدًا باستخدام ورق الصنفرة، ثمَّ أقسمُهُ إلى 3 أجزاء متساوية، وأحضر 3 حُبيبات نيكل و 3 حُبيبات رصاص و 3 مسامير.

2- **أُجَرِّب.** أُحضِرُ 3 أنابيب اختبار نظيفة، وأضعُها في حامل الأنابيب، وَأُرَقِّمُها من 3–1.

3- **أقيس.** أستخدمُ المِخبارَ المُدَرَّج، وأضعُ 10 mL من محلول نترات المغنيسيوم في كلِّ أنبوب اختبار.

4- **أُلاحظ.** أضَعُ في كلِّ أنبوب قطعة واحدة من أحد الفلِزّات الأربعة، وأستثني الفِلِزّ الذي يوجدُ محلولُهُ في الأنابيب الثلاثة، ثمَّ أُرُجُّ كلَّ أنبوب بلطف وَأُراقبُ الأنابيبَ كُلَّها. هل حدث تفاعل؟ أُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.

5- **أُجَرِّب.** أُكَرِّرُ الخطواتِ 2، 3، 4 السابقة باستخدام محلول نترات النيكل، ثمَّ محلول نترات الرصاص، ثمَّ محلول نترات الحديد II، وَأُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.

6- **أُنَظِّمُ البيانات.** أُسَجِّلُ البياناتِ في الجدول الآتي:

التفاعل مع المحلول / العنصر	محلول $Mg(NO_3)_2$		محلول $Ni(NO_3)_2$		محلول $Pb(NO_3)_2$		محلول $Fe(NO_3)_2$	
الملاحظات	حدوث تفاعل	الدليل	حدوث تفاعل	الدليل	حدوث تفاعل	الدليل	حدوث تفاعل	الدليل
Mg								

التحليلُ والاستنتاج:

1- أكتبُ معادلة كيميائيّة موزونة تمثلُ التفاعل الحادث في كلِّ أنبوب.

2- **أُرَتِّبُ** الفِلِزّات حَسَبَ قوَّتها كعواملَ مختزلة.

3- **أُفَسِّر** تَرَسُّبَ النيكل عند تفاعل المغنيسيوم معَ نترات النيكل $Ni(NO_3)_2$.

4- **أُفَسِّر.** لا يتفاعلُ الرصاصُ معَ محلول نترات الحديد II $Fe(NO_3)_2$.

■ الأسئلة الإضافية :

السؤال الإضافي 1 :

تم إستخدام كل من الفلزات الآتية (A , B , C , D , G) مع محلول أحد أملاحها المائية بتركيز (1 M) لعمل خلية جلفانية مع النيكل ومحلول أحد أملاحه بتركيز (1 M) وكانت النتائج كما في الجدول المجاور علماً بأن جميع الفلزات تكوّن أيونات ثنائية موجبة :

قطبا الخلية الجلفانية	$E°_{Cell}$ volt	اتجاه سريان الالكترونات في الدارة الخارجية .	
		من	إلى
Ni – A	1.40	A	Ni
Ni – B	1.05	Ni	B
Ni – C	0.50	C	Ni
Ni – D	0.60	Ni	D
Ni – G	0.95	G	Ni

1) رتب الفلزات السابقة متضمنة النيكل تصاعدياً حسب قوتها كعوامال مختزلة ؟
2) هل يمكن حفظ أحد أملال الفلز C في وعاء من الفلز D ؟
3) احسب $E°_{Cell}$ للخلية الجلفانية التي قطباها من الفلز بين (B ، D) ثم حدد إتجاه سيريان الإلكترونات في الدارة الخارجية للخلية ؟

الحل :

يجب تجهيز أنصاف اختزال مرتبة حسب جهود اختزالها المعيارية .

فكرة السؤال : اعتبار النيكل قطب مرجعي وافتراض أن جهد اختزاله المعياري يساوي صفر لأنه قطب متكرر في جميع الخلايا (بشرط عدم وجود قطب الهيدروجين المعياري في الخلايا الجلفانية) .

تذكر : الالكترونات تسري من المصعد إلى المهبط في الدارة الخارجية للخلية الجلفانية .

$E°_{Volt}$	نصف الاختزال
-1.40	$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$
-0.95	$G^{+2} + 2e^- \longrightarrow G$
-0.50	$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$
Zero	$Ni^{+2} + 2e^- \longrightarrow Ni$
+0.60	$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$
+1.05	$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$

1) A > G > C > Ni > D > B
2) نعم يمكن .
3) تسري الالكترونات في الدارة الخارجية من القطب D إلى القطب B .

$E°_{Cell} = +1.05 - 0.60 = +0.45\ V$

سؤال إضافي 2 :

يبين الجدول التالي جهود الإختزال المعيارية لعدد من أنصاف تفاعلات الاختزال ، أدرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

$E°_{Volt}$	نصف تفاعل الاختزال
+ 0.54	$I_2 + 2e^- \rightleftarrows 2I^-$
- 0.28	$Co^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Co$
- 0.04	$Fe^{+3} + 3e^- \rightleftarrows Fe$
+ 1.33	$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{+3} + 7H_2O$
- 0.76	$Zn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Zn$
- 1.18	$Mn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Mn$

1) حدد أقوى عامل مؤكسد ؟
2) حدّد فلزين لعمل خلية جلفانية لها أعلى فرق جهد ممكن؟
3) ما قيمة $E°_{Cell}$ للخلية الجلفانية التي قطباها Zn , Fe ؟
4) أيهما يمثل المصعد (anode) في الخلية الجفانية المكوّنة من قطبي Co , Mn ؟
5) حدد فلز يستطيع اختزال Fe^{+3} ، ولا يستطيع اختزال Zn^{+2} ؟
6) هل يمكن تحريك أحد Co بمعلقة من Zn ؟

7) إلى أي وعاء تتحرك الأيونات الموجبة عبر القنطرة الملحية في خلية جلفانية قطباها Mn , Zn ؟

8) ماذا يحدث لكتلة قطب Co في الخلية الجلفانية التي قطباها Fe , Co ؟

الحل :

نرتب الأنصاف حسب جهود اختزالها المعيارية :

نصف تفاعل الاختزال	E°_{Volt}
$Mn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Mn$	- 1.18
$Zn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Zn$	- 0.76
$Co^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Co$	- 0.28
$Fe^{+3} + 3e^- \rightleftarrows Fe$	- 0.04
$I_2 + 2e^- \rightleftarrows 2I^-$	+ 0.54
$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightleftarrows 2Cr^{+3} + 7H_2O$	+ 1.33

1) $Cr_2O_7^{-2}$

2) نختار أبعد فلزين عن بعضهما (مع استثناء I_2 لأنه لا فلز ، و $Cr_2O_7^{-2}$ لأ أيون عديد الذرات)
إذا الجواب : Fe , Mn (نركز على كلمة فلزين)

3)

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$$
$$\text{Fe} \qquad \text{Zn}$$

$$E^\circ_{Cell} = -0.04 - (-0.76) = +0.72 \text{ V}$$

4) Mn
5) Co
6) لا يمكن
7) نحو نصف خلية Zn
8) تقل كتلته .

سؤال إضافي 3 :

يبين الجدول المجاور جهود الاختزال المعيارية لعدد من أنصاف التفاعلات ، ادرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

نصف تفاعل الاختزال	E°_{Volt}
$Br_2 + 2e^- \rightleftarrows 2Br^-$	+ 1.07
$Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag$	+ 0.80
$Al^{+3} + 3e^- \rightleftarrows Al$	- 1.66
$Zn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Zn$	- 0.76
$Cu^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Cu$	+ 0.34

أ)

1. حدد أضعف عامل مختزل ؟
2. الفلزان اللذان يكوّنان خلية جلفانية لها أقل جهد ممكن ؟
3. العناصر التي تستطيع تحرير الهيدروجين من مركباته ؟

ب) بالاعتماد على نفس الجدول إذا تم تشكيل خلية جلفانية قطباها (Al , Cu) في الظروف المعيارية اجب عما يأتي :

1. احسب E°_{Cell} ؟
2. اكتب التفاعل الكلي في الخلية ؟
3. ماذا يحدث لكتلة قطب الألمنيوم مع مرور الزمن ؟
4. إذا كانت القنطرة الملحية تحتوي محلول KNO_3 فإلى أي الوعاءين تتجه أيونات NO_3^- ؟

الحل :

نرتب أنصاف الاختزال حسب جهودها :

نصف تفاعل الاختزال	E°_{Volt}
$Al^{+3} + 3e^- \rightleftarrows Al$	- 1.66
$Zn^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Zn$	- 0.76
$Cu^{+2} + 2e^- \rightleftarrows Cu$	+ 0.34
$Ag^+ + e^- \rightleftarrows Ag$	+ 0.80
$Br_2 + 2e^- \rightleftarrows 2Br^-$	+ 1.07

أ)

1. Br^-
2. Ag , Cu (نختار أقرب فلزين على بعض مع استثناء Br_2 لأنه لا فلز .
3. Zn , Al

ب)

1.

$$E^\circ_{Cell} = +0.34 - (-1.66) = +2 \text{ V}$$

2)

$[\ Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow Cu\ ] \times 3$

$[\ Al \longrightarrow Al^{+3} + 3e^-\ ] \times 2$

$3Cu^{+2} + 2Al \longrightarrow 3Cu + 2Al^{+3}$

3) تقل كتلته

نحو نصف خلية الألمنيوم .

سؤال إضافي 4 :

عند دراسة الفلزات المشار إليها بالرموز الإفتراضية (A , B , C , D , E) وجميعها تكوّن أيونات ثنائية موجبة ، تم الحصول على النتائج الآتية :

- يستطيع العنصر A اختزال أيونات العنصر D ولا يستطيع اختزال أيونات العنصر B .
- لا يمكن تحضير العنصر D من أملاحه بواسطة العنصر C ؟
- يتأكسد العنصر C عند وضعه في محلول يحتوي أيونات العنصر E ؟
- تستطيع أيونات العنصر C أكسدة العنصر D ولا تستطيع أكسدة العنصر E .

معتمداً على النتائج السابقة أجب عما يأتي :

1) رتب العناصر السابقة تصاعدياً حسب قوتها كعوامل مختزلة ؟
2) أي فلزين يكوّنان خلية جلفانية لها أكبر جهد ممكن ؟
3) أي الفلزات يمكن أن يصنع منها أوعية لحفظ محاليل أملاح العنصر D ؟
4) عند بناء خلية جلفانية قطباها من العنصرين C , D أكتب معادلة نصف التفاعل عن كل من المهبط والمصعد ؟

نصف اختزال :
$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$
$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$
$E^{+2} + 2e^- \longrightarrow E$

يزداد جهد الاختزال المعياري

1. $B > A > D > C > E$
2. B , E
3. E , C
4. نصف تفاعل التأكسد عند المصعد :

$D \longrightarrow D^{+2} + 2e^-$

نصف تفاعل الاختزال عند المهبط :

$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$

سؤال إضافي 5 :

تم استخدام عدد من الأقطاب الفلزية ومحاليلها المائية (1M) لعمل 4 خلايا جلفانية مختلفة كما في الجدول (1) ، كما يبين الجدول (2) جهود الاختزال المعيارية لعدد من التفاعلات :

الجدول (1) :

رقم الخلية	القطب A	القطب B
1	Mn	Zn
2	Cu	Ag
3	Zn	Cu
4	Ni	Mn

الجدول 2 :

نصف تفاعل الاختزال	E°_{Volt}
$Zn^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Zn$	- 0.76
$Mn^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Mn$	- 1.18
$Cu^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$	+ 0.34
$Ni^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Ni$	- 0.23
$Ag^{+} + e^{-} \longrightarrow Ag$	+ 0.80

اعتماداً على الجدولين (2 , 1) أجب عما يأتي :

1. أي القطبين A أم B يمثل المصعد في الخلية رقم 1 ؟
2. حدد العناصر التي تستطيع تحرير الهيدروجين من مركباته ؟
3. ماذا يحدث لكتلة القطب B في الخلية رقم 3 ؟
4. أي الأيونات (Ag^{+} , Ni^{+2} , Mn^{+2}) أقوى كعامل مؤكسد ؟
5. باستخدام الجدول (2) اختر فلزين لعمل خلية لها أعلى فرق جهد واكتب معادلة التفاعل الكلي لهذه الخلية ؟

الحل :

1) القطب A (Mn)
2) (Ni , Zn , Mn)
3) تزداد
4) Ag^{+}
5) (Ag , Mn)

المعادلة الكلية في الخلية :

$$2Ag^{+} + Mn \longrightarrow 2Ag + Mn^{+2}$$

سؤال إضافي 6 :

تم إجراء سلسلة من التجارب على الفلزات (A , Q , X , D) ولوحظ ما يأتي :

- تم ترسيب ذرات A عند وضع قطعة من الفلز D في محلول يحتوي على A^{+2}
- يتصاعد غاز H_2 عند وضع سلك من المادة Q في محلول HCl المخفف .
- عند تحريك محلول يحتوي على Q^{+2} بمعلقة من A ترسبت ذرات Q .
- لا يتفاعل سلك من X في محلول HCl المخفف .

اعتماداً على النتائج السابقة أجب عما يأتي :

1. في خلية جلفانية قطباها من A , D أي القطبين تزداد كتلته ؟
2. هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح Q في وعاء مصنوع من المادة D ؟
3. هل تستطيع أيونات X^{+2} أكسدة ذرات العنصر A
4. في خلية جلفانية قطباها Q و X ما اتجاه حركة الإلكترونات عبر ا لأسلاك الخارجية ؟
5. في خلية جلفانية قطباها Q و A أيهما يمثل المهبط ؟
6. حدد فلزين يكوّنان خلية جلفانية لها أعلى فرق جهد ؟

الحل :

$D^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow D$	(-)
$A^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow A$	(-)
$Q^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Q$	(-)
$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$	Zero
$X^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow X$	(+)

1) A
2) لا
3) نعم
4) من Q إلى X
5) Q
6) (X , D)

سؤال إضافي 7 :

تمثل المعادلات الآتية تفاعلات لخلايا جلفانية وجهودها المعيارية ، أدرسها ثم أجب عن الأسئلة :

معادلة التفاعل	E°_{Volt}
$Zn + 2Ag^{+} \longrightarrow Zn^{+2} + 2Ag$	+ 1.56
$Zn + Ni^{+2} \longrightarrow Zn^{+2} + Ni$	+ 0.53
$Zn + 2H^{+} \longrightarrow Zn^{+2} + H_2$	+ 0.76

1) ما قيمة جهد نصف التفاعل :

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

2) أيهما أقوى كعامل مختزل Ni أم H_2 ؟
3) أكتب التفاعل الكلي لخلية جلفانية مكونة من قطبي Ag , Ni ؟
4) ماذا يحدث لكتلة Ni في الخلية الجلفانية المكوّنة من قطبي Zn و Ni ؟
5) ما القطب الذي يمثل المهبط في الخلية الجلفانية المكوّنة من قطبي Ag و H_2 ؟
6) هل يمكن حفظ محلول كبريتات الخارصين $ZnSO_4$ في وعاء من النيكل ؟
7) إلى أي وعاء تتحرك الأيونات السالبة من القنطرة الملحية في خلية جلفانية قطباها Zn و Ag ؟

الحل :

إنتبه في المعادلة رقم 3 يوجد قطب الهيدروجين المعياري وجهد اختزاله يساوي صفر لذلك يمكن الاعتماد عليه لإيجاد جهود الاختزال المعيارية لبقية الأقطاب :

نصف الاختزال	$E^{\circ}_{Cell\ Volt}$
$Zn^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Zn$	- 0.76
$Ni^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Ni$	- 0.23
$2H^{+} + 2e^{-} \longrightarrow H_2$	0.00
$Ag^{+} + e^{-} \longrightarrow Ag$	+ 0.80

1) – 0.23 Volt
2) Ni
3) $Ni + 2Ag^{+} \longrightarrow Ni^{+2} + 2Ag$
4) تزداد
5) Ag
6) نعم
7) نحو نصف خلية Zn

نحو وعاء Zn

سؤال إضافي 8 :

الجدول المجاور يمثل خلايا جلفانية لعدد من الفلزات الافتراضية (A , B , C , D , E) التي تكون على شكل أيونات ثنائية موجبة في مركباتها ادرس المعلومات في الجدول ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

رقم الخلية	قطبا الخلية	المهبط	$E^{\circ}_{Cell\ Volt}$
1	B / A	A	1.1
2	B / C	C	2
3	C / D	D	0.25
4	E / B	B	2.5

1) أي الفلزات له أعلى جهد اختزال معياري : E أم A ؟
2) ما العامل المؤكسد الأقوى ؟
3) هل يمكن تحريك محلول نترات D بمعلقة من A ؟
4) حدّد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك في الخلية الجلفانية التي قطباها (A , C) ؟
5) هل تستطيع أيونات A^{+2} أكسدة العنصر B ؟

الحل :

نصف اختزال :
$E^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow E$
$B^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow B$
$A^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow A$
$C^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow C$
$D^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow D$

يزداد جهد الاختزال المعياري

1) A
2) D^{+2}
3) لا يمكن
4) من قطب A إلى قطب C
5) نعم

سؤال إضافي 9 :

لديك الفلزات (A , B , C , X , Y , D) والتي يتكون على شكل أيونات ثنائية موجبة في مركباتها ، فإذا علمت أنّ :

- العنصر A يختزل أيونات X^{+2} ولا يختزل أيونات C^{+2}
- يمكن حفظ محاليل كل من B و D في وعاء من Y
- يمكن استخلاص الفلز D من أيوناته باستخدام العنصر B
- العنصر B لا يحرر الهيدروجين من محاليله الحمضية ، ولكن العنصر X يذوب في محلول حمض HCl المخفف .

أجب عن الأسئلة الآتية :

1) ما الفلز الذي لا يحرر الهيدروجين من محلول حمض HCl المخفف ولا يختزل أيونات D؟
2) ماذا يحدث لكتلة القطب X في الخلية الجلفانية التي قطباها X و D ؟
3) ماذا يحدث لتركيز أيونات C^{+2} في خلية جلفانية قطباها B و C؟
4) هل يمكن حفظ محلول نترات العنصر A في وعاء مصنوع من الفلز B ؟
5) حدد فلزين لعمل خلية جلفانية لها أعلى فرق جهد ممكن ؟

الحل :

$E°_V$	نصف تفاعل الاختزال
قيمة سالبة	$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$
قيمة سالبة	$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$
قيمة سالبة	$X^{+2} + 2e^- \longrightarrow X$
قيمة موجبة	$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$
قيمة موجبة	$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$
قيمة موجبة	$Y^{+2} + 2e^- \longrightarrow Y$

يزداد

جهد الاختزال

المعياري

1) Y
2) تقل كتلته
3) تزداد
4) نعم يمكن
5) C / Y

سؤال إضافي 10 :

يبين الجدول المجاور بيانات لعدد من الخلايا الجلفانية، أدرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

رقم الخلية	الأقطاب	العامل المؤكسد	$E°_{Cell\ Volt}$
1	Cu , Zn	Cu^{+2}	+ 1.1
2	Zn , Sn	Sn^{+2}	+ 0.62
3	Ni , Sn	Sn^{+2}	+ 0.09
4	Cu , Ag	Ag^+	+ 0.46
5	Sn , H_2	H^+	+ 0.14

1) ما القطب الذي يمثل المصعد في الخلية رقم 2 ؟
2) أكتب التفاعل الكلي في الخلية رقم 5 ؟
3) ما قيمة جهد الخلية الجلفانية المكوّنة من قطبي (Ni, Cu) ؟
4) ما رقم الخلية التي تقل فيها كتلة قطب Cu ؟
5) هل يمكن حفظ محلولل HCl المخفف في وعاء من Sn ؟
6) ما اتجاه سريان الإلكترونات عبر الأسلاك في الخلية رقم 3 ؟
7) أيهما أقوى كعامل مختزل Zn أم Ni ؟

الحل :

1) Zn
2) $2H^+ + Sn \longrightarrow H_2 + Sn^{+2}$
3) + 0.57 V
4) الخلية رقم 4
5) لا
6) من قطب Ni إلى قطب Sn
7) Zn

سؤال إضافي 11 :

يبين الجدول المجاور بيانات للخلايا الجلفانية لفلزات افتراضية (A , B , C) بالإضافة إلى قطب الهيدروجين المعياري H_2 والذي قيمة جهد اختزاله المعياري (صفر) أدرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

رقم الخلية	الخلية الجلفانية	E°_{Cell} Volt	المهبط
1	A – B	+ 0.78	B
2	A – C	+ 1.22	A
3	H_2 – A	+ 0.44	H_2
4	H_2 – B	?	?
5	B – C	?	?

1) حدد العامل المختزل الأقوى ؟
2) حدد إتجاه حركة الإلكترونات في الخلية رقم 4 ؟
3) أي القطبين تقل كتلته في الخلية الجلفانية رقم 1 ؟
4) أي الفلزات لا يحرر غاز H_2 عند وضعه في محلول HCl المخفف ؟
5) أي الوعاءين (C أم B) يمكن حفظ أحد أملاح A فيه ؟
6) حدد الفلزين اللذين يكونان خلية جلفانية لها أقل فرق جهد ؟
7) ما قيمة جهد الخلية رقم 5 ؟
8) أي القطبين هو المصعد في الخلية الجلفانية المكونة من قطبي (B , C) ؟
9) الحل :

E° V	
C	-1.66
A	-0.44
H_2	صفر
B	+0.34

1) C
2) من H_2 إلى B
3) A
4) B
5) وعاء B
6) A – B
7) E°_{Cell} = +0.34 – (- 1.66) = + 2 V
8) C

سؤال إضافي 12 :

يبين الجدول المجاور بعض المواد وقيم جهود الاختزال المعيارية لها ، أدرسه ، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

المادة	E° Volt
Cu^{+2}	+0.34
Ag^{+}	+0.80
Ni^{+2}	-0.23
Al^{+3}	-1.66
Sn^{+2}	-0.14
Zn^{+2}	-0.76

1) حدد أضعف عامل مؤكسد ؟
2) أيهما يمثل المصعد في الخلية الجلفانية المكونة من قطبي (Cu , Ni) ؟
3) أيهما تزداد كتلته في الخلية الجلفانية المكوّنة من قطبي (Zn و Sn) ؟
4) أي الفلزين (Ag أم Zn) يستخدم لصنع وعاء يحفظ فيه محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$ ؟
5) احسب جهد الخلية الجلفانية المكونة من قطبي (Ag و Ni) ؟
6) حدد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك في الخلية الجلفانية التي قطباها (Al و Zn) ؟
7) أي الفلزين (Sn أم Cu) يحرر غاز H_2 من محلول حمض HCl المخفف ؟
8) أي التفاعلين يحدث بشكل تلقائي (Ag مع Cu^{+2}) أم (Cu مع Ag^{+}) ؟

تذكر ترتيب المواد حسب جهود اختزالها المعيارية بطريقة صحيحة قبل البدء بالحل .

الحل :

1) Al^{+3}
2) المصعد Ni
3) Sn
4) وعاء Ag
5) E°_{Cell} = 0.80 – (- 0.23) = + 1.03 V
6) من المصعد Al إلى المهبط Zn
7) Sn
8) Cu مع Ag^{+}

سؤال إضافي 13 :

يبين الجدول الآتي بيانات للخلايا الجلفانية لفلزات افتراضية (X , Y , Z) حيث تكوّن أيونات ثنائية موجبة في مركباتها ، أدرس البيانات في الجدول ثم أجب عن الأسئلة التي تليه :

الخلية الجلفانية	$E^\circ_{Cell\ V}$	المصعد
Y – X	+ 0.60	X
Z – Y	+ 2.13	Y
H_2 – Z	+ 0.23	Z

1) حدد العامل المختزل الأقوى ؟
2) ما قيمة جهد الاختزال المعياري للفلز Y ؟
3) حدد العامل المؤكسد في الخلية Z – Y ؟
4) ما قيمة جهد الخلية المعياري للخلية الجلفانية (X – Z) ؟
5) هل يمكن حفظ أحد أملاح الفلز Y في وعاء من الفلز X ؟
6) حدّد الفلزين اللذين يكوّنان خلية جلفانية لها أكبر فرق جهد ؟
7) أي القطبين تقل كتلته في الخلية الجلفانية (Y – Z) ؟

الحل :

نصف الاختزال	E°_{Cell}
$X^{+2} + 2e^- \longrightarrow X$	-2.96
$Y^{+2} + 2e^- \longrightarrow Y$	-2.36
$Z^{+2} + 2e^- \longrightarrow Z$	-0.23
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	صفر

1) X
2) -2.36 V
3) Z^{+2}
4) $E^\circ_{Cell} = -0.23 - (-2.96) = +2.73\ V$
5) لا يمكن
6) X و Z (انتبه H_2 ليس فلز)
7) Y

سؤال إضافي 14 :

عند دراسة الفلزات ذات الرموز الافتراضية وأيوناتها الثنائية الموجبة (Q , W , Y , L , X) وجد أنه :

- يسري التيار من L إلى X في الخلية الجلفانية المكونة لهما.
- لا يحفظ محلول أيونات Y في وعاء من Q .
- لا تذوب W و Q في حمض HCl بينما يذوب X فيه .
- تقل كتلة Q في الخلية الجلفانية المكونة من Q و W .
- Y هو المصعد في الخلية الجلفانية المكونة من W و Y.

أجب عن الأسئلة الآتية :

1) هل يمكن حفظ أيونات Q في وعاء من X ؟
2) أكتب التفاعل الكلي للخلية الجلفانية المكونة من Q و W ؟
3) أي القطبين يمثل المهبط في الخلية الجلفانية المكوّنة من Y و W؟
4) أي القطبين يمثل المهبط في الخلية الجلفانية المكوّنة من Y و X ؟
5) أي القطبين تزداد كتلته في الخلية الجلفانية المكونة من X و W ؟
6) حدد الفلزين اللذين يكوّنان خلية جلفانية لها أكبر فرق جهد ممكن ؟
7) هل يحدث التفاعل الآتي تلقائيا :

$$Q + L^{+2} \longrightarrow Q^{+2} + L$$

الحل :

نصف الاختزال	E°_{Cell}
$L^{+2} + 2e^- \longrightarrow L$	قيمة سالبة
$X^{+2} + 2e^- \longrightarrow X$	قيمة سالبة
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	صفر
$Q^{+2} + 2e^- \longrightarrow Q$	قيمة موجبة
$Y^{+2} + 2e^- \longrightarrow Y$	قيمة موجبة
$W^{+2} + 2e^- \longrightarrow W$	قيمة موجبة

1) لا
2) $W^{+2} + Q \longrightarrow W + Q^{+2}$

3) W
4) Y
5) W
6) W , L
7) لا يحدث تلقائيا

سؤال إضافي 15 :

اعتماداً على الجدول الآتي والمعلومات المتعلقة به :

نصف تفاعل الاختزال	القيمة المطلقة الجهد الاختزال المعياري
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$	0.34 V
$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$	1.66 V
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$	1.18 V
$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$	0.23 V
$M^{+2} + 2e^- \longrightarrow M$	0.80 V

- A لا يتفاعل مع حمض HCl المخفف .
- عند عمل خلية جلفانية من القطب B وقطب بالهيدروجين المعياري تقل كتلة B
- عند عمل خلية جلفانية من C و B كانت $E^\circ_{Cell} = +0.48$ Volt

- M لا يحرر الهيدروجين من مركباته .
- عند عمل خلية جلفانية من M و D كانت $E^\circ_{Cell} = +1.03$ Volt

أجب عن الاسئلة الآتية :

1) اختر فلزين لعمل خلية جلفانية لها أقل جهد ممكن ؟
2) ما أقوى عامل مؤكسد ؟
3) هل يمكن حفظ محلول DSO_4 في وعاء من B؟
4) هل يستطيع D إختزال أيونات B ؟
5) هل يحدث التفاعل الآتي تلقائياً :

$$M^{+2} + C \longrightarrow M + C^{+2}$$

6) أي العناصر له أعلى جهد تأكسد A أم M ؟
7) رتب الأيونات حسب جهود اختزالها متضمناً الهيدروجين ؟
8) رتب العناصر حسب جهود تأكسدها متضمناً الهيدروجين ؟

الحل :

نصف تفاعل الاختزال	E° V
$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$	-1.66 V
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$	-1.18 V
$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$	-0.23 V
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	صفر
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$	+0.34 V
$M^{+2} + 2e^- \longrightarrow M$	+0.80 V

1) A و M
2) M^{+2}
3) لا
4) لا
5) نعم يحدث تلقائياً
6) A
7) $M^{+2} > A^{+2} > H^+ > D^{+2} > C^{+2} > B^{+2}$
8) $B > C > D > H_2 > A > M$

سؤال إضافي 16:

تبين عند دراسة خصائص الفلزات الآتية (أ , ب , ج , د , هـ) ما يأتي :

- يتفاعل الفلز أ والفلز ج مع محلول HCl وينطلق غاز H_2
- لا يحل الفلز هـ محل أيونات الفلزات أ , ب , ج , د في محاليلها .
- الفلز (أ) أكثر ميلاً لفقد الإلكترونات من الفلز ب .
- إذا أضيف شريط من الفلز د إلى محلول مائي لأحد محاليل أيونات كل من (ب , ج) فإن تفاعلاً يحدث في حالة ج ، ولا يحدث في حالة ب .

رتب الفلزات السابقة حسب قوتها كعوامل مختزلة ؟

الحل :

هـ > ج > د > ب > أ

تزداد قوة العامل المختزل ←

سؤال إضافي 17 :

تبين عند دراسة خصائص الفلزات الآتية (V , W , X , Y , Z) وجميعها تكون أيونات ثنائية موجبة ، لوحظ ما يأتي :

- تتفاعل الفلزات (X , Y , Z) فقط مع محاليل الحموض المخففة وينطلق غاز H_2
- الفلز Z يحرر الفلز Y من مركباته ولا يحل محل الفلز X في مركباته .
- عند تفاعل الفلز W مع محلول أيونات V تكون $E°$ تفاعل قيمة سالبة .

رتب الأيونات السابقة وفق قوتها كعوامل مؤكسدة متضمناً الهيدروجين .

الحل :

$$W^{+2} > V^{+2} > H^{+} > Y^{+2} > Z^{+2} > X^{+2}$$

تزداد قوة العامل المؤكسد ←

سؤال إضافي 18 :

عند دراسة الفلزات المشار إليها بالرموز الافتراضية الآتية (A , B , C , D , E) وجميعها قلويات ترابية ، تم الحصول على النتائج الآتية :

- يستطيع العنصر A اختزال أيونات العنصر D ولا يستطيع اختزال أيونات العنصر B
- لا يمكن تحضير العنصر D من أملاحه بواسطة العنصر C
- يتأكسد العنصر C عند وضعه في محلول يحتوي أيونات العنصر E

رتب الأيونات السابقة حسب قوتها كعوامل مؤكسدة ؟

الحل :

$$E^{+2} > C^{+2} > D^{+2} > A^{+2} > B^{+2}$$

تزداد قوة العامل المؤكسد ←

سؤال إضافي 19 :

التفاعلات الآتية قابلة للحدوث بشكل تلقائي :

$$2Cr^{+3} + 3Mn \longrightarrow 2Cr + 3Mn^{+2}$$

$$Cd + Pb^{+2} \longrightarrow Cd^{+2} + Pb$$

$$2Cr + 3Cd^{+2} \longrightarrow 2Cr^{+3} + 3Cd$$

1) رتب الفلزات Mn , Pb , Cd , Cr حسب قوتها كعوامل مختزلة ؟
2) حدد أقوى عامل مؤكسد ؟
3) اختر فلزين لعمل خلية جلفانية لها أعلى جهد ممكن ؟

الحل :

1) $Mn > Cr > Cd > Pb$

2) Pb^{+2}

3) Pb , Mn

سؤال إضافي 20 :

إذا علمت أن القيمة المطلقة لجهد الاختزال المعياري للفلزات (A , B , C) كما يأتي :

نصف تفاعل الاختزال	القيمة المطلقة لجهد الاختزال المعياري
$A^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow A$	0.85 V
$B^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow B$	0.40 V
$C^{+3} + 3e^{-} \longrightarrow C$	0.75

- عند وصل نصف خلية B مع نصف خلية C فإن الالكترونات تنتقل من C إلى B .
- عند وصل نصف خلية C مع نصف خلية A فإن A هو المهبط .
- العنصر B يذوب في محلول حمض HCl

1) حدد إشارة E° لأنصاف تفاعلات الاختزال في الجدول ؟
2) حدد أقوى عامل مؤكسد ؟

الحل:

1)

$C^{+3} + 3e^{-} \longrightarrow C$	-0.75
$B^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow B$	- 0.40
$A^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow A$	+ 0.85

2) A^{+2}

سؤال إضافي 21 :

تم استخدام كل من الفلزات الآتية (X , Y , Z , M , Q) لعمل خلية جلفانية مع الفلز W وكانت النتائج كالآتي :

قطبا الخلية	E°_{Cell}	القطب الذي يتجه نحوه مؤشر الفولتميتر
W – X	+ 1.30	W
W – Z	+ 1.15	Z
W – Y	+ 0.40	Y
W – M	+ 0.55	W
W – Q	+ 0.75	W

اعتماداً على المعلومات في الجدول علماً بأن الفلزات جميعها تكون أيونات ثنائية موجبة ، أجب عما يأتي :

1) رتب الفلزات السابقة حسب قوتها كعوامل مختزلة ؟
2) اختر فلز يمكن استخدامه كوعاء لحفظ محلول كبريتات الفلز Y ؟
3) احسب E°_{Cell} التي قطباها من الفلزين (X و Z) ؟
4) أكتب التفاعل الكلي في الخلية الجلفانية التي قطباها من الفلزين (X و Z) ؟

الحل :

1) X > Q > M > W > Y > Z
2) Z
3) + 2.45 Volt
4) $Z^{+2} + X \longrightarrow Z + X^{+2}$

سؤال إضافي 22 :

لديك الفلزات الآتية ذات الرموز الافتراضية (Y , X , Z, Q, L) وجميعها تكون في مركباتها أيونات ثنائية موجبة ، فإذا علمت أن :

- تختزل ذرات Y أيونات موجبة للفلز L ولا تختزل أيونات Q .
- تتأكسد ذرات Q عند وضعها في محلول أيونات Z ، ولكنها لا تتأكسد في محلول أيونات X .
- تؤكسد أيونات Z ذرات بقية العناصر .

أجب عن الأسئلة الآتية :

1) رتب الفلزات السابقة وفق قوتها كعوامل مختزلة ؟
2) حدد الفلزين اللذين يكونان خلية جلفانية لها أكبر فرق جهد ممكن ؟
3) عند عمل خلية جلفانية قطباها (X , L) فأي القطبين تزداد كتلته ؟
4) حدد أقوى عامل مؤكسد ؟
5) إلى أي الأقطاب يتجه مؤشر الفولتميتر في الخلية الجلفانية التي قطباها (L ,Q) ؟

الحل :

نصف تفاعل الاختزال
$X^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow X$
$Q^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Q$
$Y^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Y$
$L^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow L$
$Z^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Z$

يزداد جهد الاختزال المعياري

1) X > Q > Y > L > Z
2) (Z , X)
3) L
4) Z^{+2}
5) نحو قطب L

سؤال إضافي 23 :

لديك الفلزات الافتراضية (A , B , C , D , X , Y) وجميعها تكون أيونات ثنائية موجبة فإذا علمت أن :

- يمكن حفظ أملاح D في وعاء مصنوع من الفلز B ولا يمكن حفظها في وعاء من الفلز X .
- أيونات C^{+2} و Y^{+2} أضعف كعامل مؤكسد من أيونات D^{+2}
- تقل كتلة القطب Y في خلية جلفانية قطباها (Y , C).
- B أقوى كعامل مختزل من A .
- يقع الهيدروجين في جدول جهود الاختزال بين القطبين D, B .
- لا يمكن تحضير X من أملاحه بواسطة العنصر C.
- Y أقوى كعامل مختزل من X .

أجب عن الأسئلة الأتية :

1) رتب الفلزات السابقة حسب قوتها كعوامل مختزلة ؟
2) ما الأيون الذي يؤكسد B ؟
3) أكتب رموز الفلزات التي يمكن أن تختزل D^{+2} ؟
4) هل يذوب سلك من C في حمض HCl المخفف ؟
5) اختر فلزين لعمل خلية جلفانية لها أكبر جهد ممكن ؟

الحل :

$Y^{+2} + 2e^- \longrightarrow Y$
$X^{+2} + 2e^- \longrightarrow X$
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$
$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$
$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$

1) Y > X > C > D > B > A
2) A^{+2}
3) (Y , X , C)
4) نعم
5) (A , Y)

سؤال إضافي 24 :

لديك الفلزات ذات الرموز الافتراضية (A , B , C , D , E) وجميعها تكون أيونات ثنائية موجبة في مركباتها ، فإذا علمت أن :

- الفلزات (A , D, E) فقط تذوب في حمض الهيدروكلويك المخفف .
- يسري التيار من القطب D إلى القطب E في الخلية الجلفانية التي قطباها (D , E) .
- ذرات E تختزل أيونات A^{+2}
- يمكن تحريك محلول كبريتات C بمعلقة من B

أجب عن الأسئلة الاتية :

1. اختر فلزين لعمل خلية جلفانية لها أكبر جهد ممكن ؟
2. اختر فلزاً يمكن استخدامه كمعلقة في تحريك محلول كبريتات A ؟
3. هل يمكن لأيونات A أن تؤكسد ذرات العنصر E ؟
4. خلية جلفانية قطباها (E ,C) إلى أي الأقطاب يتجه مؤشر الفولتميتر ؟
5. في خلية جلفانية قطباها من الفلزين D و A :
   أ) حدد المصعد والمهبط ؟
   ب) أي القطبين تزداد كتلته ؟
   ج) أي القطبين يزداد تركيز أيوناته ؟
   د) حدد اتجاه حركة الأيونات السالبة عبر القنطرة الملحية ؟
   هـ) حدد اتجاه حركة الأيونات الموجبة عبر القنطرة الملحية ؟

الحل :

$D^{+2} + 2e^- \longrightarrow D$	(-)
$E^{+2} + 2e^- \longrightarrow E$	(-)
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$	(-)
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$	(+)
$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$	(+)

1) (B , D)
2) (B , C)
3) نعم
4) نحو قطب C
5)
أ. D (مصعد سالب) / A (مصعد موجب)
ب. A
ج. D
د. نحو وعاء D
هـ. نحو وعاء A

سؤال إضافي 25 :

بناء على المعلومات الواردة في الجدول ، إذا علمت أن جهد الاختزال المعياري للهيدروجين يساوي صفر .

التفاعل	$E°_{Cell}$ V
$A^{+2} + B \longrightarrow B^{+2} + A$	+ 0.27 (تلقائي)
$C^{+2} + A \longrightarrow A^{+2} + C$	+ 0.98 (تلقائي)
$2H^+ + C \longrightarrow C^{+2} + H_2$	-0.85 (غير تلقائي)

1) احسب $E°_{Cell}$ قطبها (C , B) ؟
2) حدد أضعف عامل مختزل ؟
3) إذا علمت أن جهد اختزال Y^{+2} يساوي (0.23 V -) حدد خلية جلفانية يكون فيها الفلز Y مهبطاً ؟

الحل :

- أي تفاعل غير تلقائي بنقلبه بصير تلقائي

$B^{+2} + 2e^- \longrightarrow B$	- 0.4
$A^{+2} + 2e^- \longrightarrow A$	- 0.13
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H2$	صفر
$C^{+2} + 2e^- \longrightarrow C$	+ 0.85

1) + 1.25
2) C
3) Y / B

سؤال إضافي 26 :

هل يستطيع الحديد Fe اختزال أيونات Fe^{+3} إلى Fe^{+2} في وسط مائي وفق المعادلة الآتية :

$$2Fe^{+3} + Fe \longrightarrow 2Fe^{+2}$$

علماً بأن :

$Fe^{+3} + e^- \longrightarrow Fe^{+2}$ ($E° = 0.77$ V)

$Fe^{+2} + 2e^- \longrightarrow Fe$ ($E° = -0.44$ V)

الحل :

$$E°_{cell} = E°_{reduction\ Cathode} - E°_{reduction\ anode}$$

$$E°_{Cell} = 0.77 - (-0.44) = +1.21$$

وبما أن التفاعل تلقائي إذن يمكن .

سؤال إضافي 27 :

هل يمكن تحضير الكلور Cl_2 بأكسدة أيوناته بواسطة Br_2 . وضح ذلك ؟

علماً بأن :

$E^\circ_{reduction} / Cl_2 = +1.36\ V$

$E^\circ_{reduction} / Br_2 = +1.07\ V$

الحل :

$Br_2 + 2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2Br^-$

$E^\circ_{Cell} = +1.07 - (+1.36)$

$E^\circ_{Cell} = -0.29\ Volt$

التفاعل غير تلقائي ، إذن لا يمكن تحضير Cl_2 بأكسدة أيوناته بواسطة Br_2 .

سؤال إضافي 28 :

هل يمكن تحضير البروم Br_2 باكسدة أيوناته بواسطة Cl_2 . وضح ذلك ؟

الحل :

التفاعل المتوقع :

$Cl_2 + 2Br^- \longrightarrow Br_2 + 2Cl^-$

$E^\circ_{Cell} = 1.36 - (+1.07)$

$E^\circ_{Cell} = +0.29\ Volt$

التفاعل تلقائي ، إذن يمكن تحضير البروم Br_2 بأكسدة أيوناته بواسطة Cl_2.

تطبيقاتٌ عمليّة للخليّة الجلفانيّة
Applications of the Galvanic Cell

البطّاريات Batteries

تُعَدُّ البطّارياتُ منَ التطبيقات العمليّة المهمّة للخلايا الجلفانيّة؛ إذ تحدثُ فيها تفاعلاتُ تأكسد واختزال تلقائيّة تتحوَّلُ فيها الطاقة الكيميائيّة إلى طاقة كهربائيّة، وتختلفُ البطّاريات في ما بينها في مكوّناتها، ومن ثَمَّ تختلفُ تفاعلاتُ التأكسد والاختزال التي تُولِّدُ الطاقة الكهربائيّة فيها.

الشكلُ (8): أنواعٌ مختلفة منَ البطّاريات.

هناك أنواعٌ مختلفة منَ البطّاريات، منها البطّارياتُ الأوليّة التي تُستخدَمُ مرّةً واحدة ولا يمكن إعادة شحنها، مثل: البطّاريات الجافّة، والبطّاريات الجافّة القلويّة. ومن أنواعها أيضًا البطّارياتُ الثانويّة، وهي قابلةٌ لإعادة الشحن، مثل: بطّاريات التخزين، كالمركم الرصاصي (بطّاريّة الرصاص الحِمضيّة)، وبطّاريّة أيون الليثيوم، أنظرُ الشكل (8).

بطّاريّةُ الرصاص للتخزين Lead Storage Battery

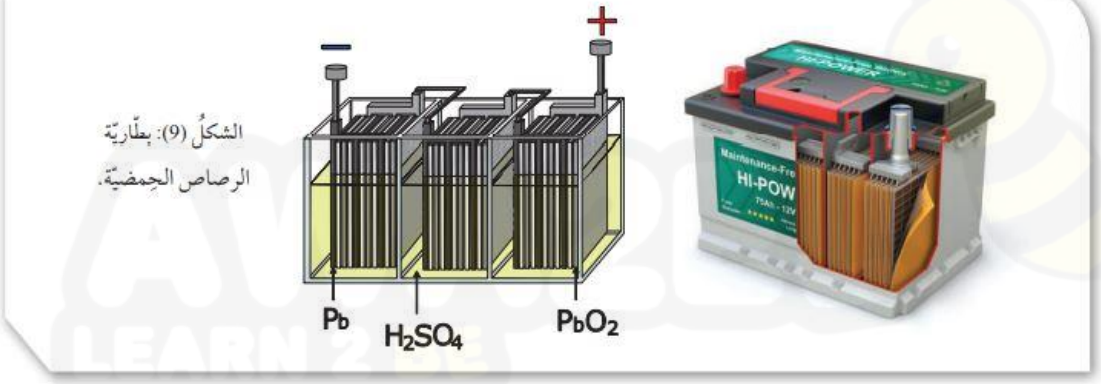
تُعَدُّ بطّاريّة الرصاص الحِمضيّة مثالًا على البطّاريات الثانويّة؛ أي يمكنُ إعادةُ شحنها، وتتكوَّنُ من سِتِّ خلايا جلفانيّة تتكوَّنُ كلٌّ منها من ألواح منَ الرصاص تمثُلُ فيها المِصعد، وألواح منَ الرصاص المغلَّف بأكسيد الرصاص PbO_2 IV تمثُلُ المِهبط. تُرَتَّبُ هذه الأقطابُ (الخلايا) بوعاء بلاستيكي مقوّى بطريقة متبادلة تفصلُ بينها صفائحُ عازلةٌ، وَتُغمَرُ في محلول حِمض الكبريتيك الذي كثافته $1.28g/cm^3$، وتوصلُ ببعضها على التوالي، كما يوضِّحُ الشكل (9)، أمّا أنصافُ التفاعلات التي تحدثُ فيها فهي:

تفاعل المِصعد: $Pb + HSO_4^- \rightarrow PbSO_4 + H^+ + 2e^-$

تفاعل المِهبط: $PbO_2 + 3H^+ + HSO_4^- + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

التفاعل الكلي: $Pb + PbO_2 + 2H^+ + 2HSO_4^- \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

جهد الخليّة الواحدة يساوي 2 V تقريبًا؛ أي أنَّ البطّاريّة تعطي فرقَ جهد يساوي 12 V.



الشكلُ (9): بطّاريّة الرصاص الحِمضيّة.

يُلاحظُ منَ المعادلات الكيميائيّة أنَّ حِمض الكبريتيك يُستهلَكُ نتيجة استخدام البطّاريّة؛ ممّا يؤدي إلى نقصان كثافته؛ لذلك يمكنُ مراقبة كفاءة البطّاريّة من خلال قياس كثافة حِمضِها.

عند شحن البطّاريّة بواسطة تيّار كهربائي يجري عكسُ تفاعُلَيِّ التأكسدِ والاختزال، ومن ثَمَّ التفاعل الكُلي في البطّاريّة، وفي السيارات تجري عمليّةُ الشحن بشكل تلقائي ومستمرٌ بواسطة مولِّد التيّار (الدينامو) المُتَّصِلِ بمحرّك السيّارة. ويتراوح عمرُ البطّاريّة من 3–5 سنوات تقريبًا؛ إذ إنها تفقدُ صلاحيَّتَها نتيجة فقدان جزء من مكوِّناتها، مثل $PbSO_{4(s)}$ الذي يتكوَّنُ نتيجة عمليَّتي التأكسدِ والاختزال اللتين تحدثان فيها، ونتيجة الحركة المستمرَّة للمركَبات على الطرق، التي تؤدي إلى تساقطه عن ألواح الرصاص، ومن ثَمَّ عدم دخوله في التفاعل العكسي، الذي يؤدي إلى إعادة شحن البطّاريّة.

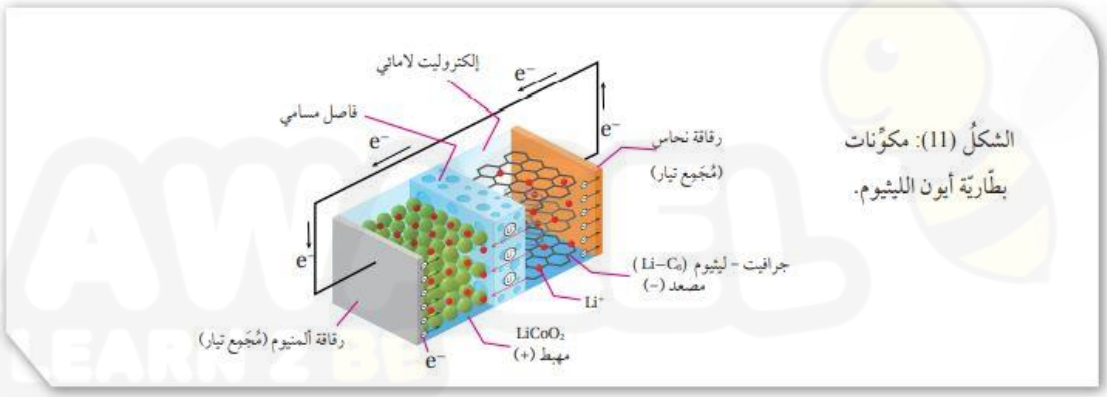
بطّاريّة أيون الليثيوم Lithium – Ion Battery

تُعَدُّ بطّاريّة أيون الليثيوم من أكثر أنواع البطّاريات استخدامًا في الوقت الحاضر، وقد استُخدمت للمرَّة الأولى عام 1991، أمّا اليوم فإنها تُعَدُّ مصدرَ الطاقة الرئيس للعديد من وسائل التكنولوجيا وأدواتها في المجالات المختلفة؛ حيث تُستخدَمُ في السيارات الكهربائيّة والحواسيب والهواتف المحمولة والعديد منَ الأجهزة الكهربائيّة الاستهلاكيّة الأخرى، أنظرُ الشكل (10)؛ مِمَّ تتكوَّنُ بطّاريّة أيون الليثيوم؟ وما التفاعلاتُ الكيميائيّة التي تحدثُ فيها؟ وما ميزاتُها؟

الشكلُ (10): بطّاريّة أيون الليثيوم.

تتكوَّنُ بطّاريّة أيون الليثيوم من عدّة خلايا مُتَّصلة ببعضها، تتكوَّنُ كلٌّ منها من ثلاثة مكوِّنات رئيسة، هي:

- المِصعد (القطب السالب): يتكوَّنُ عادةً منَ الجرافيت، الذي يتميَّزُ بقدرته على تخزين (استيعاب) ذرّات الليثيوم وأيوناته دونَ التأثير فيها.
- المِهبط (القطب الموجب): يتكوَّنُ من بلّورات لأكسيد عنصر انتقالي، مثل أكسيد الكوبلت IV، (CoO_2) الذي يمكنه أيضًا تخزينُ (استيعاب) أيونات الليثيوم، مثل الجرافيت، أنظرُ الشكل (11).



الشكلُ (11): مكوِّنات بطّاريّة أيون الليثيوم.

- المحلول الإلكتروليتي: يتكوَّنُ من محلول لامائي لأحد أملاح الليثيوم ومذيب عضوي يذوب فيه الملح، وعادةً يُستخدَمُ $LiPF_6$ مُذابًا في كربونات الإيثيلين $CH_2CH_2CO_3$، وتولِّدُ خلايا أيون الليثيوم الكهرباءَ من خلال تفاعل التأكسد والاختزال الآتي:

نصف تفاعل التأكسد: $Li_{(s)} \rightarrow Li^+ + e^-$

نصف تفاعل الاختزال: $Li^+ + CoO_2 + e^- \rightarrow LiCoO_{2(s)}$

التفاعل الكلي: $Li_{(s)} + CoO_2 \rightarrow LiCoO_{2(s)} \quad E_{cell} = 3.4\ V$

حيث تتأكسدُ ذرّات الليثيوم عند المِصعد متحوِّلة إلى أيونات Li^+، تنتقلُ عبرَ المحلول الإلكتروليتي باتجاه المِهبط، بينما تتحرَّكُ الإلكتروناتُ عبرَ الدارة الخارجيّة منَ المِصعد إلى المِهبط؛ حيث تختزِلُ أيونات الكوبلت من Co^{4+} في أكسيد الكوبلت CoO_2 إلى Co^{3+} في $LiCoO_2$، وهي عمليّةٌ ينعكسُ مسارُها خلالَ شحن البطّاريّة، فيتأكسدُ $LiCoO_2$ وتتحرَّكُ أيوناتُ الليثيوم Li^+ عبرَ المحلول الإلكتروليتي باتجاه نصف خليّة الجرافيت؛ حيث تُختزَل.

تستمدُّ بطّاريّة أيون الليثيوم ميزاتِها من أنَّ لليثيوم أقلَّ جهد اختزال معياري؛ أي أنه أقوى عامل مختزل، وكذلك فإنه أخفُّ عنصر فِلِزّي؛ حيث إنَّ 6.941 g منه (كتلته المولّيّة) كافيةٌ لإنتاج 1 مول منَ الإلكترونات؛ أي أنَّ البطّاريّة خفيفة الوزن، وكثافة طاقتها عالية، ويمكن إعادة شحنها مئات المرّات.

الربطُ معَ الحياة

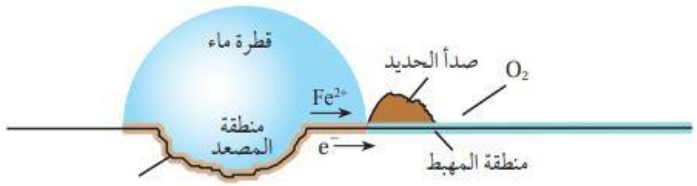
خلايا الوقود

هي خلايا جلفانيّةٌ تنتج الطاقة الكهربائية من تفاعل غازي الأكسجين والهيدروجين وفق المعادلة الآتية: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$، وتتميز عن البطاريات بأنها لا تنضب ولا تحتاج إلى شحن، وقد استخدمت هذه الخلايا في تزويد المركبات الفضائية بالطاقة، وتستخدمها المستشفيات في توليد الطاقة حال انقطاع التيار الكهربائي، وتستخدم في عدة دول في تشغيل بعض الحافلات والسيارات.

تآكلُ الفِلِزّات Corrosion of Metals

يُعرَّفُ **تآكلُ الفِلِزّات** **Corrosion of Metals** بأنه تفاعلُها معَ الهواء الجوي والموادِّ في البيئة المحيطة، فتفقدُ العديدَ من خصائصها وتتحوَّلُ إلى موادَّ جديدةٍ أكثرَ ثباتًا كيميائيًّا، كأكاسيد الفِلِزّات وهيدروكسيداتها وكبريتيداتها وكربوناتها. ولهذه العمليّة أضرارٌ اقتصاديّة كبيرة؛ فمثلًا يتآكلُ الحديدُ بفعل الهواء الجوي الرطب وينتج صدأ الحديد الصُّلب الهش، الذي يحتاجُ تعويضُ خسائره إلى خمس كميّة الحديد المُستخرَج سنويًّا.

يُصنَعُ منَ الحديد الهياكلُ الرئيسة للجسور والمباني والسيارات؛ لذلك فإنَّ منع تآكله يُعَدُّ أمرًا بالغ الأهميّة، ولتحقيق ذلك لا بُدَّ أوَّلًا من معرفة آليّة تآكل الحديد؛ فالحديد يتآكلُ بفعل تفاعل كهروكيميائي يحدث بوجود الأكسجين والماء معًا؛ إذ يتأكسدُ الحديدُ عند تَكَشُّفِ سطحه بفعل شقٍّ أو كشطٍ أو كسرٍ إلى أيونات الحديد Fe^{2+}، فيصبحُ هذا الجزءُ مِصعدَ الخليّة، وتتحرَّكُ الإلكتروناتُ الناتجة عن تأكسده من منطقة الحديد المُغَطّاه بقطرة الماء إلى حافتها حيثُ يوجدُ



الشكلُ (12): خليّة تآكل الحديد الخلفانيّة.

تأكسد/ مصعد: $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ اختزال/ مهبط: $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

الهواءُ والقليلُ منَ الماء، وهناك يُختَزَلُ أكسجينُ الهواء مكوِّنًا أيوناتِ الهيدروكسيد OH^-، وتمثلُ هذه المنطقةُ مِهبط الخليّة، كما يوضِّحُ الشكل (12).

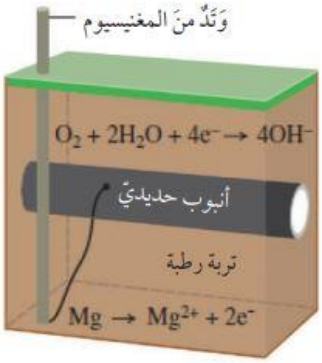
تتحرَّكُ أيوناتُ الحديد Fe^{2+} من مركز القطرة باتجاه حافتها، وتتحرَّكُ أيوناتُ الهيدروكسيد OH^- بالاتجاه المعاكس، وتتفاعلان عند التقائهما وينتج هيدروكسيد الحديد II $Fe(OH)_2$، الذي سرعان ما يتأكسدُ مكوِّنًا الصَّدأ، حَسَبَ المعادلة الكيميائيّة الآتية:

$$4Fe(OH)_{2(s)} + O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_3 \cdot H_2O_{(s)} + 2H_2O_{(l)}$$

وصدأ الحديد مادَّةٌ صُلبةٌ هَشَّةٌ بُنِّيَةِ اللون تتكوَّنُ على الأشياء الحديديّة وتتقشَّرُ بسهولة مُعَرِّضَةً سطحَ الحديد أسفلَ منها لمزيد منَ التآكل.

وَتُستعمَلُ طرائقُ عِدَّةٌ لحماية الحديد منَ التآكل، منها طريقةُ **الحماية المِهبطيّة Cathodic Protection**، التي تُستخدَمُ لحماية خطوط الأنابيب الحديديّة المدفونة في الأرض (الغاز أو النَّفط) وأجسام السُّفن، وتعتمدُ هذه الطريقة على تشكيل خليّة جلفانيّة يكونُ فيها الحديدُ المِهبط، وأحدُ الفِلِزّات النَّشِطة (مغنيسيوم، خارصين) المِصعد، أمّا التربةُ الرطبةُ أو مياهُ البحر فتمثلُ المحلولَ الإلكتروليتي.

فمثلًا، إذا وُصِلَت الأنابيبُ الحديديّة بأوتاد منَ المغنيسيوم، أنظرُ الشكل (13)، فَسَألاحِظُ تأكسدَ المغنيسيوم (المِصعد) وانتقالَ الإلكترونات عبرَ السلك المعزول إلى الأنبوب الفولاذي (المِهبط)، فَتُختَزَلُ جُزيئاتُ الأكسجين، وبذلك يتأكسد المغنيسيوم ويحمي الحديدَ منَ التآكل. أمّا في السُّفن، فَتُوصَلُ أقطابٌ منَ المغنيسيوم بهيكل السفينة لتجري حمايتُها بالطريقة السابقة نفسِها، وَتُستَبْدَلُ أقطاب المغنيسيوم المتآكلة بأقطابٌ أخرى بشكل دوري.



الشكلُ (13): الحماية المِهبطيّة للحديد.

أفكّر: أُفَسِّرُ استخدامَ المغنيسيوم أو الخارصين في الحماية المِهبطيّة للحديد.

✓ أتحقَّق:

1- أكتبُ معادلة التفاعل الكُلي الذي يحدثُ في بطّاريّة الرصاص الحِمضية خلالَ شحنها.

2- أُفَسِّر: يُعَدُّ تآكلُ الحديد خليّةً جلفانيّة.

مراجعةُ الدرس

1- **الفكرةُ الرئيسة:** كيف تنتج الخلية الجلفانية الطاقة الكهربائية؟

2- **أُوَضِّحُ** المقصودَ بكلٍّ من: • القنطرة الملحيّة. • جهد الاختزال المعياري.

3- خليّة جلفانيّة يحدثُ فيها التفاعل الآتي:

$$Co_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \rightarrow Co^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

أ . أُحَدِّدُ فيها المِصعدَ والمِهبط.

ب. أكتبُ نصفي تفاعل التأكسدِ والاختزال.

جـ. **أحسبُ** جهد الخلية المعياري، وأكتبُ تعبيرًا رمزيًّا للخليّة الجلفانيّة.

د . ما التغيُّرُ الذي يحدثُ لكتلة كلا القطبين.

4- نصفا التفاعل الآتيان يشكِّلان خليّةً جلفانيّةً في الظروف المعياريّة:

$$I_{2(s)} + 2e^- \rightarrow 2I^-{}_{(aq)} \qquad E^\circ = 0.54\ V$$

$$Fe^{2+}{}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow Fe_{(s)} \qquad E^\circ = -0.44\ V$$

أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية المتعلِّقةِ بهما:

أ . أكتبُ معادلة التفاعل الكُلي في الخليّة.

ب. **أحسبُ** جهدَ الخليّة المعياري.

جـ. ما التغيُّرُ الذي يحدثُ لتركيز أيونات كلٍّ من I^- و Fe^{2+}؟

5- أدرسُ الجدولَ الآتي، الذي يُوَضِّحُ جهدَ الخليّة المعياري لعدد منَ الخلايا الجلفانيّة المكوَّنَةِ منَ الفِلِزّات ذوات الرموز الافتراضية (A,B,C,D,E)، وجميعُها تكونُ أيوناتٍ ثنائيّةً موجبة، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

قطبا الخليّة	المصعد	E°_{Cell} (v)
D−B	D	1.3
E−B	E	1.5
C−E	C	0.4
A−B	B	0.3

أ . أُحَدِّدُ الفِلِزَّ الذي له أعلى جهد اختزال معياري: Dأم C.

ب. أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.

جـ. **أتنبَّأ**. هل يمكنُ تحريكُ محلول نترات E بِمِلعقة من A؟ أفسر إجابتي.

د . أُحَدِّدُ اتِّجاه حركة الإلكترونات عبرَ الأسلاك في الخليّة الجلفانيّة المكوَّنة من نصف خليّة $E^{2+}|E$ ونصف خليّة $D^{2+}|D$.

هـ . **أحسبُ** جهدَ الخليّة المعياري للخليّة الجلفانيّة المكوَّنة من نصف خليّة $C^{2+}|C$ ونصف خليّة $B^{2+}|B$.

6- فلزان أُعطِيا الرموز الافتراضية A و B، حيث أيوناتهما، B^{+} ،A^{3+}، قيست جهودُ الاختزال المعياريّة لنصفي تفاعل الاختزال المعياريين المكوِّنين لخليّة جلفانيّة كالآتي:

$$A^{3+} + e^{-} \rightarrow A^{2+} \qquad E^{\circ} = 0.77\ V$$

$$B^{+} + e^{-} \rightarrow B \qquad E^{\circ} = 0.80\ V$$

أ . أكتبُ معادلة كيميائيّة للتفاعل الكُلي في الخليّة الجلفانيّة.

ب. **أحسبُ** E° للتفاعل الكُلي.

جـ. أُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المختزل في التفاعل.

7- أدرسُ الجدولَ المجاور الذي يمثلُ جهودَ الاختزال المعياريّة لبعض المواد، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

المادَّة	E° (V)
Co^{2+}	−0.28
Br_2	1.07
Pb^{2+}	−0.13
Ag^{+}	0.80
Mn^{2+}	−1.18
Cd^{2+}	−0.40

أ . أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد وأقوى عامل مختزل.

ب. **أستنتج**: هل يمكنُ حفظُ البروم Br_2 في وعاء منَ الفضّة؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

جـ. **أُقارن**: ما الفِلِزّان اللذان يكوِّنان خليّةً جلفانيّة لها أكبرُ جهدِ خليّةٍ معياري؟

د . **أستنتج** المادَّة التي تستطيعُ أكسدة Cd ولا تؤكسد Pb.

هـ. أُحَدِّدُ القطبَ الذي تزداد كتلتُهُ في الخليّة الجلفانيّة (Cd−Pb).

و . أُحَدِّدُ الفِلِزَّ الذي لا يحرِّرُ غازَ الهيدروجين من محلول حِمض HCl المُخَفَّف.

ز . في الخليّة الجلفانيّة التي أُعطِيَت الرَّمزَ الآتي:

$$Sc_{(s)}|Sc^{3+}{}_{(aq)} \parallel Co^{2+}{}_{(aq)}|Co_{(s)}$$

إذا عَلِمتُ أنَّ جهدَ الخليّة المعياري $E^{\circ}_{cell} = 1.8\ V$، فَأُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

أ . أُحَدِّدُ اتجاه حركة الإلكترونات عبرَ الأسلاك في الخليّة.

ب. **أحسبُ** جهدَ الاختزال المعياري لقطب السكانديوم Sc.

جـ. أكتبُ معادلة التفاعل الكُلي في الخليّة.

■ إجاباب أسئلة مراجعة الدرس 2 :

1) تنتج الجلية الجلفانية الطاقة الكهربائية من خلال تفاعل تأكسد واختزال تلقائي الحدوث ، إذ يحدث التأكسد عند قطب المصعد وتنتقل الإلكترونات عبر الأسلاك باتجاه قطب المهبط وتحدث عملية الاختزال

2)

- القنطرة الملحية : أنبوب زجاجي على شكل حرف U يحتوي محلول مشبع لأحد الأملاح يصل بين نصفي الخلية ويحافظ على تعادل الشحنات الكهربائية فيها .

- جهد الاختزال المعياري : مقياس لميل نصف تفاعل الاختزال للحدوث في الظروف المعيارية .

3)

أ) المصعد : قطب الكوبلت Co

المهبط : قطب النحاس Cu

ب) نصف تفاعل التأكسد :

$$Co \longrightarrow Co^{+2} + 2e^-$$

نصف تفاعل الاختزال :

$$Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow Cu$$

ج)

$$E^\circ_{Cell} = E^\circ_{Cathode} + E^\circ_{anode}$$

$$E^\circ_{Cell} = 0.34$$

التعبير الرمزي للخلية :

$$Co \mid Co^{+2} \parallel Cu^{+2} \mid Cu$$

د) Co : تقل كتلته

Cu : تزداد كتلته

4) أ) $I_2 + Fe^{+2} \longrightarrow 2I^- + Fe$

ب) $E^\circ_{Cell} = 0.54 - (-0.44) = +0.98\ V$

ج) يزداد تركيز أيونات كل من Fe^{+2} و I^-

5) أ) D

ب) A^{+2}

ج) نعم ، لأن جهد اختزال A أعلى من E لذلك لا يتأكسد A ولا يختزل أيونات E^{+2}

د) من القطب E إلى القطب D

هـ) 1.9 V

6) أ) $B^+ + A^{+2} \longrightarrow A^{+3} + B$

ب) $E^\circ_{Cell} = 0.80 - 0.77 = 0.03\ V$

ج) العامل المؤكسد : B^+

العامل المختزل : A^{+2}

7) أ) أقوى عامل مؤكسد : Br_2

أقوى عامل مختزل : Mn

ب) لا ، لأن البروم أقوى كعامل مؤكسد من Ag^+ لذلك تؤكسد جزيئات البروم ذرات الفضة .

ج) الفضة Ag ، والمنغنيز Mn

د) Co^{+2}

هـ) القطب Pb تزداد كتلته .

ز)

أ) من قطب السكانديوم Sc إلى قطب الكوبلت Co

ب)

$$E^\circ_{Cell} = E^\circ_{Cathode} - E^\circ_{anode}$$

$$1.8\ V = -0.28 - E^\circ_{Sc}$$

$$E^\circ_{Sc} = -2.08\ V$$

ج) نصف تفاعل التأكسد :

$$Sc \longrightarrow Sc^{+3} + 3e^- \ / \times 2$$

نصف تفاعل الاختزال :

$$Co^{+2} + 2e^- \longrightarrow Co \ / \times 3$$

التفاعل الكلي :

$$2Sc + 3Co^{+2} \longrightarrow 2Sc^{+3} + 3Co$$

الدرس الثالث : خلايا التحليل الكهربائي

■ الفكرة الرئيسة :

تستخدم الطاقة الكهربائية لإحداث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي في خلايا التحليل الكهربائي .

تنتج الخلايا الجلفانية تياراً كهربائياً بسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال تلقائي فيها ، ويستفاد منها كمصدر للطاقة ؛ في تشغيل العديد من الأجهزة الكهربائية ، بينما هناك تفاعلات تأكسد واختزال لا تحدث بشكل تلقائي ، ويتطلب حدوثها تزويدها بطاقة كهربائية من مصدر خارجي ، عندها تسمّى الخلية المستخدمة خلية تحليل كهربائي .

- خلايا التحليل الكهربائي : خلية كهروكيميائية يحدث فيها تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي بفعل الطاقة الكهربائية .

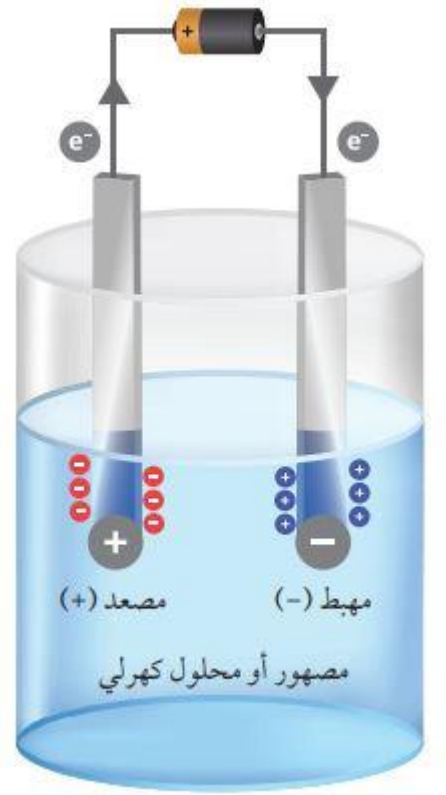
وتسمّى عملية إمرار تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادة كهرلية ؛ مما يؤدي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال ، عملية التحليل الكهربائي ، ويكون جهد هذه الخلية سالباً .

- التحليل الكهربائي : عملية إمرار تيار كهربائي في مصهور أو محلول مادة كهرلية ؛ مما يسبب حدوث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي .

ولعملية التحليل الكهربائي أهمية كبيرة ؛ فمن خلالها تشحن البطاريات وتستعمل في استخلاص العديد من الفلزات النشطة من مصاهيرها ، كالصوديوم والألمنيوم وتستخدم في تنقية الفلزات والطلاء الكهربائي لبعضها ، سواء لحمايتها من التأكل أو لإكتسابها مظهراً جميلاً .

- **التحليل الكهربائي لمصهور مادة كهرلية :**

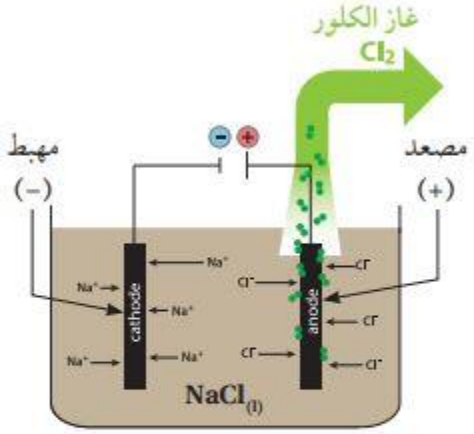
تتكون خلية التحليل الكهربائي من وعاء يحتوي على مصهور مادة أيونية ، وأقطاب خاملة من الجرافيت أو البلاتين ، وبطارية وأسلاك توصيل حيث يوصل أحد الأقطاب بقطب البطارية السالب ويسمى المهبط ، بينما يتصل القطب الأخر بقطبها الموجبة ويسمى المصعد .



يحتوي مصهور المادة الأيونية على أيونات موجبة وسالبة ، وعند إمرار تيار كهربائي فيه تتحرك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفة لها في الشحنة ؛ حيث تتحرك الأيونات الموجبة باتجاه القطب السالب (المهبط) وتختزل ، أما الأيونات السالبة فتتحرك باتجاه القطب الموجب (المصعد) وتتأكسد ، ومن ثمّ فإن التفاعل الذي يحدث في الخلية غير تلقائي ؛ لذا يجب أن يكون جهد البطارية المستخدمة لإحداثه أكبر من جهد الخلية .

- **التحليل الكهربائي لمصهور NaCl :**

يحتوي مصهور NaCl على أيونات Na^+ و Cl^- ، ويبين الشكل (16) خلية التحليل الكهربائي لمصهور NaCl



الشكلُ (16): التحليل الكهربائي لمصهور NaCl.

حيث يلاحظ أنه عند إغلاق الدارة الكهربائية ومرور تيار كهربائي عبر الأسلاك تتحرك أيونات الصوديوم Na^+ باتجاه المهبط ، وتحدث لها عملية اختزال ، وتتكون ذرات الصوديوم ، كما في المعادلة الآتية :

نصف تفاعل الاختزال / مهبط :

$$Na^+_{(L)} + e^- \longrightarrow Na_{(L)}$$

أما أيونات الكلوريد Cl^- فتتحرك باتجاه المصعد حيث تتأكسد مكونة غاز الكلور ، كما في المعادلة الآتية :

نصف تفاعل التأكسد / مصعد :

$$2Cl^-_{(L)} \longrightarrow Cl_{2(g)} + 2e^-$$

ولإيجاد التفاعل الكلي في الخلية يجمع نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال بعد مساواة عدد الإلكترونات المفقودة والمكتسبة .

التفاعل الكلي :

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

ويمكن حساب جهد الخلية المعياري بالرجوع للجدول (2)

$$Na^{+}_{(aq)} + e^{-} \longrightarrow Na_{(L)} \qquad E°_{Na} = -2.71\ V$$

$$Cl_{2(g)} + 2e^{-} \longrightarrow 2Cl^{-}_{(aq)} \qquad E°_{Cl_2} = 1.36\ V$$

نحسب $E°_{Cell}$:

$$E°_{Cell} = E°_{Cathode\ /\ Na} - E°_{anode\ /\ Cl_2}$$

$$E°_{Cell} = -2.71 - 1.36 = -4.07\ V$$

يلاحظ أن جهد الخلية المعياري للتفاعل سالب (تفاعل غير تلقائي) ، وأنه يحدث بسبب تزويد الخلية بفرق جهد كهربائي من البطارية يزيد على جهد الخلية المعياري ؛ أي أكبر من (4.07 V) تستخدم عملية تحليل مصهور NaCl كهربائياً لاستخلاص الصوديوم صناعياً ، كما تستخلص معظم الفلزات النشطة ، كالليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم غالباً ، ومن مصاهير كلوريداتها بتحليلها كهربائياً .

- **أتحقق :**

أجيب عن الأسئلة الآتية المتعلقة بالتحليل الكهربائي لمصهور $CaBr_2$.

1) أكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال في خلية التحليل الكهربائي ؟
2) استنتج نواتج التحليل الكهربائي للمصهور ؟
3) أتوقع جهد البطارية اللازم لإحداث تفاعل التحليل الكهربائي للمصهور ؟

الحل :

معادلة الإنصهار :

$$CaBr_{2(S)} \xrightarrow{\Delta} Ca^{+2}_{(L)} + 2Br^{-}_{(L)}$$

1) نصف تفاعل التأكسد / مصعد :

$$2Br^{-} \longrightarrow Br_2 + 2e^{-}$$

نصف تفاعل الاختزال / مهبط :

$$Ca^{+2} + 2e^{-} \longrightarrow Ca$$

ب) نواتج التحليل الكهربائي للمصهور :

عند المهبط : يتكون Ca

عن المصعد : يتكون Br_2

ج) $E°_{Cell} = E°_{Cathode} - E°_{anode}$

$E°_{Cell} = -2.76 - 1.07 = -3.83\ V$

يلزم تزويد الخلية بفرق جهد اكبر من 3.83 V +

- **التحليل الكهربائي لمحلول مادة كهرلية :**

يحتوي المحلول المائي للمادة الأيونية على الأيونات الموجبة والسالبة الناتجة عن تفككها وعلى جزيئات الماء ؛ لذلك عند تحليل محلول مائي لمركب أيوني كهربائياً يؤخذ بالحسبان حدوث تأكسد للأيونات السالبة في المحلول أو لجزيئات الماء ، وكذلك يمكن أن يحدث اختزال للأيونات الموجبة أو لجزيئات الماء في المحلول ؛ لذلك قد تختلف نواتج عملية التحليل الكهربائي لمصهور مركب أيوني عنها لمحلوله .

- **التحليل الكهربائي لمحلول يوريد البوتاسيوم KI**

يتفكك يوريد البوتاسيوم في الماء حسب المعادلة :

$$KI_{(S)} \xrightarrow{H_2O} K^{+}_{(aq)} + I^{-}_{(aq)}$$

عند المهبط :

هناك احتمالان هما اختزال أيونات K^+ أو اختزال جزيئات الماء:

بالرجوع للجدول (2) :

$K^+ + e^- \rightleftharpoons K \qquad E°_K = -2.92\ V$

$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)} + 2OH^- \qquad E°_{H_2O} = -0.83\ V$

يلاحظ أن جهد اختزال الماء أعلى من جهد اختزال البوتاسيوم لذلك يختزل الماء :

$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_{2(g)} + 2OH^-$

عند المصعد :

هناك احتمالان هما تأكسد أيونات اليوريد I^- أو تأكسد جزيئات الماء ، بالرجوع إلى الجدول (2) :

$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O \qquad E°_{red} = 1.23\ V$

$I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^- \qquad E°_{red} = 0.54\ V$

نلاحظ أن التفاعل العكسي في المعادلة الآولى يمثل تأكسد الماء ويمثل في المعادلة الثانية تأكسد أيونات اليوريد I^-

$E°_{oxidation} = -E°_{reduction}$

لذلك يكون جهد تأكسد اليود أعلى من جهد تأكسد الماء ، لذلك تتأكسد أيونات اليوديد I^- وينتج اليود I_2 عند المصعد .

عند المهبط :

التفاعل الأكثر احتمالاً هو اختزال جزيئات الماء

$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)} + 2OH^-$

عند المصعد :

التفاعل الأكثر احتمالاً هو تأكسد أيونات اليوريد I^-

$2I^- \longrightarrow I_2 + 2e^-$

التفاعل الكلي : نجمع نصفي التأكسد والاختزال

$2H_2O + 2I^- \longrightarrow H_2 + 2OH^- + I_2$

نواتج التحليل الكهربائي لمحلول KI :

عند المصعد : يتكون اليود I_2

عند المهبط : تصاعد غاز H_2 وتكون هيدروكسيد البوتاسيوم KOH

ويمكن حساب $E°_{Cell}$:

$E°_{Cell} = E°_{Cathode\ /\ H_2O} - E°_{anode\ /\ I_2}$

$E°_{Cell} = -0.83 - -0.54 = -1.37\ V$

جهد الخلية سالب (تفاعل غير تلقائي)

أما جهد الخلية اللازم لإحداث التفاعل فيزيد عن 1.37 V

- **التحليل الكهربائي لمحلول بروميد النحاس $CuBr_2$**

يتفكك بروميد النحاس في الماء حسب المعادلة :

$CuBr_{2(S)} \xrightarrow{H_2O} Cu^{+2} + 2Br^-$

عند المهبط :

هناك احتمالان هما اختزال أيونات النحاس Cu^{+2} أو جزيئات الماء ، وبالرجوع إلى جدول جهود الاختزال المعيارية نجد أن جهد اختزال النحاس أعلى من جهد اختزال الماء (أيونات Cu^{+2} أسهل اختزالاً) لذلك يختزل أيونات Cu^{+2}

$Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow Cu \quad / \quad E° = 0.34\ V$

عند المصعد :

هناك احتمالان هما تأكسد أيونات Br^- أو جزيئات الماء ، وبالرجوع للجدول (2) نجد أن أيونات Br^- أسهل تأكسد من جزيئات الماء لأن جهد تأكسد Br^- أكبر من الماء .

$2Br^-_{(aq)} \longrightarrow Br_{2(L)} + 2e^-$ / $E°_{oxidation} = -1.07$

$E°_{reduction} = 1.07$

التفاعل الكلي :

$Cu^{+2}_{(aq)} + 2Br^-_{(aq)} \longrightarrow Cu_{(S)} + Br_{2(L)}$

نواتج التحليل :

عند المصعد : تكون البروم Br_2

عند المهبط : يتكون النحاس Cu

$E°_{Cell} = E°_{Cathode\ /\ Cu} - E°_{anode\ /\ Br_2}$

$E°_{Cell} = 0.34 - 1.07 = -0.73\ V$

أي أن جهد البطارية اللازم لإحداث التفاعل يزيد على 0.73 V

- **التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4**

تتفكك كبريتات الصوديوم في الماء حسب المعادلة :

$Na_2SO_{4(S)} \xrightarrow{H_2O} 2Na^+_{(aq)} + SO_4^{-2}{}_{(aq)}$

عند المهبط :

هناك احتمالان هما اختزال أيونات الصوديوم Na^+ أو اختزال جزيئات الماء

$E°_{reduction\ /\ Na} = -2.71\ V$

$E°_{reduction\ /\ H_2O} = -0.83\ V$

يلاحظ أن جهد اختزال الماء أكبر من أيونات الصوديوم لذلك يكون اختزال الماء أسهل عند المهبط

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

عند المصعد :

هناك احتمالان هما تأكسد أيونات SO_4^{-2} أو تأكسد جزيئات الماء ، وقد لوحظ عملياً تصاعد غاز الأكسجين عن المصعد ، مما يدل على تأكسد جزيئات الماء حسب المعادلة :

$2H_2O \longrightarrow O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^-$

التفاعل الكلي :

نجمع نصفي تفاعل التأكسد والاختزال :

نصف تفاعل التأكسد :

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

نصف تفاعل الاختزال :

$[\ 2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-\ ] \times 2$

$4H_2O + 4e^- \longrightarrow 2H_2 + 4OH^-$

$6H_2O \longrightarrow O_2 + 2H_2 + 4H_2O$

التفاعل الكلي :

$2H_2O_{(L)} \longrightarrow O_{2(g)} + 2H_{2(g)}$

أي أن ما حدث عند تحليل محلول كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 كهربائياً هو تحليل الماء كهربائياً ؛ حيث تأكسدت جزيئات الماء واختزلت مكونة غازي الأكسجين والهيدروجين.

يلاحظ من دراسة الأمثلة السابقة لتحليل محاليل المركبات الأيونية كهربائياً أن الأيونات الموجبة وجزيئات الماء يحتمل أن تختزل عند المهبط ، وأن الأيونات السالبة وجزيئات الماء يحتمل أن تتأكسد عند المصعد ، وأن التفاعل الذي يحدث يعتمد بشكل عام على جهود الاختزال المعيارية لكل منها ، كما أن سلوك أيون معين هو نفسه خلال عملية التحليل الكهربائي بغض النظر عن مصدره ، وأن هناك بعض الأيونات متعددة الذرات مثل (NO_3^- , SO_4^{-2}) لا تتأثر عند تحليل محاليلها كهربائياً .

- **ملاحظة هامة :**

التحليل الكهربائي لمحاليل أملاح الكلور غير مطلوبة بينما مصاهير أملاح الكلور مطلوبة .

سؤال : أفسر دور كبريتات الصوديوم في عملية التحليل الكهربائي للماء .

الحل :

الماء النقي موصل ضعيف للكهرباء نظراً للتركيز المنخفض جداً لأيونات H_3O^+ و OH^- فيه ، لذلك تستخدم كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 لتكوين محلول كهرلي يسمح بمرور التيار الكهربائي وبالتالي إحداث تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائي تتنافس فيها الأيونات الموجبة وجزيئات الماء على الاختزال ، والأيونات السالبة وجزيئات الماء على التأكسد .

أتحقق :

أكتب تفاعلي المصعد والمهبط اللذين يحدثان عن تحليل محلول $NiBr_2$ كهربائياً باستخدام أقطاب من الجرافيت .

تفاعل المهبط :

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

تفاعل المصعد :

$$2Br^- \longrightarrow Br_2 + 2e^-$$

سؤال : أفسر بالمعادلات .

عند تحليل محلول $CuSO_4$ كهربائياً يتحول تدريجياً إلى محلول H_2SO_4 .

الحل :

$$CuSO_{4(aq)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + SO_4^{-2}{}_{(aq)}$$

أيون SO_4^{-2} لا يتأكسد إنما يتأكسد الماء حسب المعادلة :

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

ينتج عن تأكسد الماء غاز الأكسجين وأيونات الهيدروجين H^+ في المحلول ، أما أيونات النحاس Cu^{+2} فإنها تختزل وتترسب عند المهبط لذلك يقل تركيزها في المحلول وبالتالي يتحول المحلول تدريجياً إلى محلول H_2SO_4

- **ملاحظة :**

يتم استخدام أقطاب جرافيت أو بلاتين Pt في أثناء التحليل الكهربائي لأنها أقطاب خاملة لا تدخل في التفاعلات الكيميائية التي تحدث خلال التحليل الكهربائي ، فهي توفر السطح المناسب لحدوث تفاعلات التأكسد والاختزال عليها ، بينما في أغلبية تطبيقات التحليل الكهربائي فتستخدم فيها أقطاب فعّالة ، كما في تنقية الفلزات .

- **مقارنة بين الخلية الجلفانية وخلية التحليل الكهربائي :**

وجه المقارنة	الخلية الجلفانية	خلية التحليل الكهربائي
تحولات الطاقة	من كيميائية إلى كهربائية	من كهربائية إلى كيميائية
$E°$ تفاعل (الخلية)	(+) تلقائي	(-) غير تلقائي
المصعد	شحنته سالبة وتحدث عنده عملية التأكسد	شحنته موجبة وتحدث عنده عملية التأكسد
المهبط	شحنته (+) وتحدث عنده عملية الاختزال	شحنته (-) وتحدث عنده عملية الاختزال

- **التطبيقات العملية للتحليل الكهربائي :**

تعمل خلية التحليل الكهربائي على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية من خلال استخدام تيار كهربائي يجبر تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائيين على الحدوث . ولهذه الخلايا تطبيقات مهمة في الصناعة ، من مثل استخلاص الفلزات النشطة من مصاهير خاماتها ، وتنقية الفلزات لاستخدامها في المجالات التي تحتاج إلى فلزات نقية بدرجة كبيرة .

- **استخلاص الألمنيوم :**

يعدّ الألمنيوم من أكثر الفلزات انتشاراً في القشرة الأرضية ، وهو من الفلزات النشطة ، ويستخلص من خام البوكسيت $Al_2O_3.2H_2O$ بطريقة هول – هيرولیت ؛ حيث يعالج الخام لتخليصه من الشوائب ، ثمّ يسخن لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، ويذاب مصهور الكريوليت Na_3AlF_6 فتنخفض درجة انصهاره نحو 1000° C .

وتسمّى خلية التحليل الكهربائي لمصهور Al_2O_3 خلية هول – هيرولیت ، وتتكون من الداخل من طبقة من الجرافيت تمثل المهبط ، وسلسلة من أقطاب الجرافيت تنغمس في المصهور تمثل المصعد .

عند إجراء عملية التحليل الكهربائي يحدث اختزال لأيونات الألمنيوم عند المهبط ، ويتكون الألمنيوم الذي يتجمع أسفل الخلية ؛ حيث يسحب من مخرج خاص .

معادلة تفاعل المهبط / اختزال :

$$Al^{+3}_{(L)} + 3e^- \longrightarrow Al_{(L)}$$

أما عند المصعد فتتأكسد أيونات الأكسجين O^{-2} مكونة غاز الأكسجين ، حسب المعادلة :

معادلة تفاعل المصعد / التأكسد :

$$2O^{-2}_{(L)} \longrightarrow O_{2(g)} + 4e^-$$

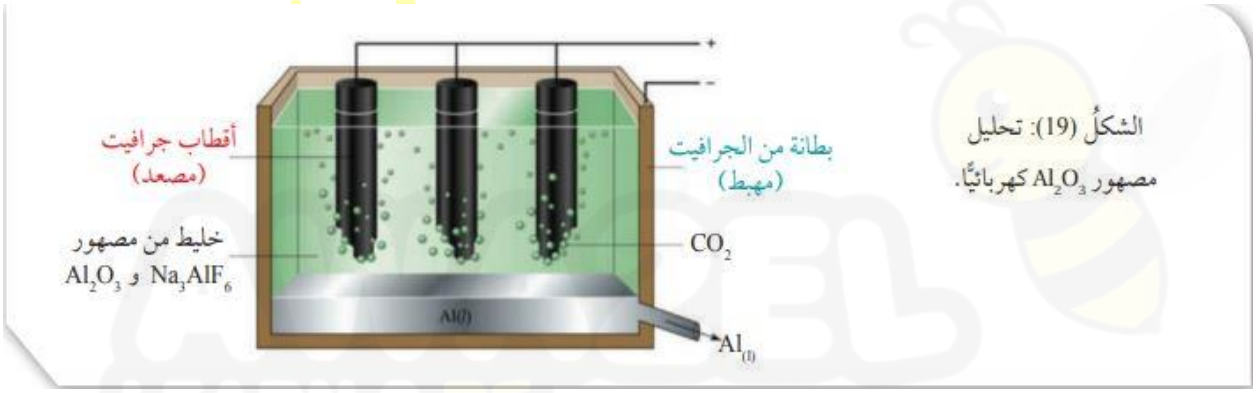
ويتفاعل الأكسجين الناتج مع أقطاب الجرافيت مكوّناً ثاني أكسيد الكربون ، حسب المعادلة :

$$C_{(S)} + O_{2(g)} \longrightarrow CO_{2(g)}$$

مما يؤدي إلى تأكلها ، فيجري تغييرها بشكل دوري ويمكن تلخيص التفاعل الكلي الذي يحدث في الخلية بالمعادلة الآتية:

$$2Al_2O_{3(L)} + 3C_{(S)} \longrightarrow 4Al_{(L)} + 3CO_{2(g)}$$

ونظراً إلى أن عملية استخلاص الألمنيوم تستهلك كميات هائلة من الطاقة ، تقام مصانع انتاجه قريباً من محطات الطاقة الكهربائية لتوفير كلفة نقل الطاقة ، كما يركّز بشكل كبير على عملية إعادة تدويره ؛ إذ تبلغ كمية الطاقة اللازمة لإعادة تدويره نحو 5% من الطاقة اللازمة لاستخلاصه من خام البوكسيت .



الشكل (19): تحليل مصهور Al_2O_3 كهربائيًا.

- **تنقية الفلزات :**

تحتاج بعض استخدامات الفلزات إلى أن تكون نقية تماماً . فمثلاً ، يجب أن يكون النحاس المستخدم في التمديدات الكهربائية نقياً ؛ لذا تستخدم عملية التحليل الكهربائي في تنقية الفلزات ، مثل النحاس ، بعد عملية استخلاصه من خاماته ؛ إذ يحتوي على شوائب ، مثل الخارصين والحديد والذهب والفضة والبلاتين , وحتّى تم تنقيته، يشكل النحاس غير النقي على شكل قوالب تمثل المصعد في خلية التحليل الكهربائي ، ويوصل المهبط بشريحة دقيقة من النحاس النقي ، ثم يغمران في محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$

وعند تمرير تيار كهربائي في الخلية تحدث التفاعلات الآتية :

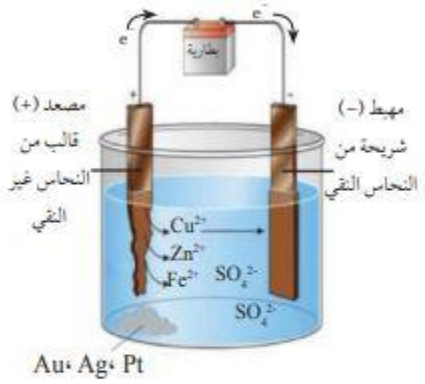
تفاعل المصعد / تأكسد :

$$Cu_{(S)} \longrightarrow Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^-$$

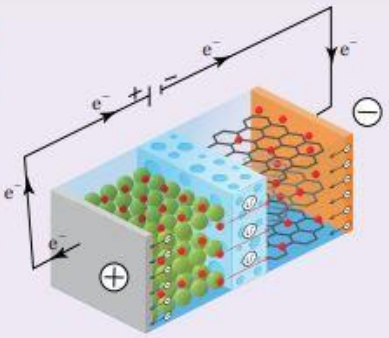
تفاعل المهبط / اختزال :

$$Cu^{+2}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(S)}$$

تتأكسد ذرات النحاس إلى أيونات Cu^{+2} وتنتقل لتختزل وتترسب على المهبط ، أنظر الشكل (20) وتتأكسد ذرات الفلزات (الشوائب) التي لها جهد اختزال أقل من النحاس ، كالخارصين والحديد مكوّنة أيونات Zn^{+2} و Fe^{+2} على الترتيب ، وتبقى هذه الأيونات ذائبة في المحلول ، أما الذهب والفضة والبلاتين فإن جهد اختزالها أعلى من جهد الخلية المستخدم ؛ لذلك لا تتأكسد ذراتها ، وتتجمع في قاع الخلية ، وتكون درجة نقاوة النحاس الناتج نحو 99.9 %



الشكلُ (20): تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي.



الربطُ مع الحياة شحنُ البطارية

تَجمَعُ البطّارياتُ القابلةُ لإعادة الشحن بين كيمياء كلٍّ منَ الخلايا الجلفانيّة وخلايا التحليل الكهربائي. فعند استخدام الأجهزة المحتوية عليها، كالهاتف الخلوي أو السيّارة الكهربائيّة، تُحَوَّلُ الطاقةُ الكيميائيّة إلى كهربائيّة؛ أي تعملُ كخليّة جلفانيّة، أما عند شحن البطاريّة فإنها تعملُ كخليّة تحليل كهربائي تُحَوَّلُ الطاقةَ الكهربائيّة، التي تزوَّدُ بها، إلى كيميائيّة؛ حيث ينعكسُ اتجاهُ حركة الإلكترونات فيها، ويحدثُ التفاعلُ العكسيُّ للتفاعل المنتج للتيار الكهربائيِّ في البطاريّة.

- **أتحقق :**

1) أفسّر . لا تُختزل أيونات Fe^{+2} و Zn^{+2} ، التي توجد ذراتها على شكل شوائب مع النحاس ، خلال عملية تنقيته بالتحليل الكهربائي .

الحل :

لأن جهد اختزال كل من الحديد (0.44 V -) والخارصين (0.76 V -) أقل بكثير من جهد اختزال النحاس (0.34 V) لذلك يكون جهد البطارية المستخدمة في خلية تنقية النحاس أقل من جهد البطارية اللازم لاختزال أيونات Fe^{+2} و Zn^{+2} , لذلك لا تختزل .

2) أفسّر . مستعيناً بمعادلات كيميائية ، استبدال أقطاب الجرافيت المستخدمة في خلية هول – هيرويت بشكل دوري .

الحل :

تشكل أقطاب الجرافيت المصعد في خلية هول – هيرويت حيث تتأكسد أيونات الأكسجين O^{-2} مكوّنة غاز الأكسجين ، يتفاعل الغاز مع أقطاب الجرافيت مكوناً CO_2 حسب المعادلات :

$$2O^{-2} \longrightarrow O_2 + 4e^-$$

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

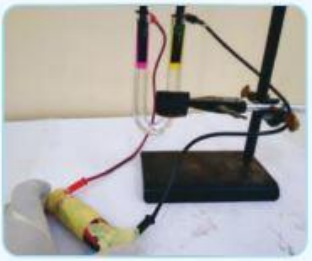
مما يؤدي إلى تأكلها وبالتالي تغييرها بشكل دوري .

التجربة 3

التحليلُ الكهربائي لمحاليل بعض المركَّبات الأيونيّة

الموادُّ والأدوات:

أنبوبان زجاجيان على شكل حرف U، أقطاب جرافيت عدد (4)، كاشف الفينولفثالين، أسلاك توصيل، بطّاريّة (3 V) عدد (2)، حامل وماسك فِلِزّي 100 mL، من محلول يوديد البوتاسيوم KI بتركيز 0.5 M ، 100 mL من محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$ بتركيز 0.5 M .



إرشاداتُ السلامة:

- أتبعُ إرشاداتِ السلامة العامة في المختبر.
- أرتدي معطفَ المختبرِ والنظاراتِ الواقيةَ والقفازات.
- أتعاملُ معَ الموادِّ الكيميائيّة بحذر.

خطواتُ العمل:

1- **أُجَرِّبُ.** أُثَبِّتُ أنبوبًا زجاجيًّا على شكل حرف U على الحامل الفِلِزّي باستخدام الماسك، كما في الشكل.

2- أملأُ الأنبوبَ الزجاجي بمحلول يوديد البوتاسيوم، بحيث يبقى ما يقارب 1 cm فارغًا من كلِّ طرف، ثمَّ أُضيفُ إليه 3 نقاط من كاشف الفينولفثالين.

3- **أُطَبِّقُ.** أَصِلُ قطبي الجرافيت بأسلاك توصيل، ثمَّ أضعُها في الأنبوب الزجاجي بحيث يكونُ كلٌّ منهما في أحد طرفي الأنبوب، كما في الشكل.

4- **أُلاحظ.** أَصِلُ أسلاك التوصيل بقطبي البطّاريّة وأتركُها لمدّة 15 min، وَأُلاحظُ التغيُّرات التي تحدث في المحلول، ثم أفصلُ التيارَ الكهربائي، وَأُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.

5- **أُجَرِّب.** أُكَرِّرُ الخطوات من 1–4 باستخدام محلول كبريتات النحاس، وَأُسَجِّلُ ملاحظاتي في جدول البيانات.

6- **أُنَظِّمُ البيانات.** أُسَجِّلُ بياناتي في الجدول الآتي:

التغيُّر ومكانُ حدوثه / المحلول	المِصعد		المِهبط	
	تغيُّر اللون	تصاعد غاز	تغيُّر اللون	تصاعد غاز
يوديد البوتاسيوم $KI_{(aq)}$				

التحليلُ والاستنتاج:

1- **أَصِفُ** التغيُّراتِ التي حدثت عند تحليل محلول كلٍّ من يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائيًّا عند كلٍّ منَ المِصعد والمِهبط.

2- ما نواتجُ تحليل كلٍّ من محلول يوديد البوتاسيوم وكبريتات النحاس كهربائيًّا؟

4- أكتبُ معادلة كيميائيّة تمثلُ التفاعلَ الذي حدث عند المِصعد لكلِّ محلول.

5- أكتبُ معادلة كيميائيّة تمثلُ التفاعلَ الذي حدث عند المِهبط لكلِّ محلول.

6- **أستنتجُ** نواتجَ التحليل الكهربائي لمحلول CuI_2.

مراجعةُ الدرس

1- **الفكرةُ الرئيسة:**

أُوَضِّحُ مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي.

2- **أُفَسِّر:**

أ . لا يمكنُ تحضيرُ غاز الفلور بالتحليل الكهربائي لمحلول NaF.

ب. تكون الكُلفة الاقتصاديّة لإعادة تدوير الألمنيوم أقلَّ من كُلفة استخراجه من خام البوكسيت.

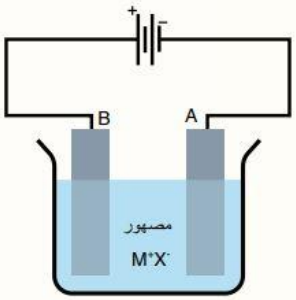
3- **أتوقع:** بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة؛ أتوقّعُ نواتجَ التحليل الكهربائي لمحاليل الأملاح الآتية:

أ . يوديد المغنيسيوم MgI_2.

ب. نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$.

جـ. كبريتات الكوبلت $CoSO_4$.

4- أدرسُ الشكلَ المجاور، حيث يمثلُ خليّة تحليل كهربائي لمصهور المركّب الأيوني MX باستخدام أقطاب منَ الجرافيت أُعطِيَتِ الرموز A و B ، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:



أ . أُحَدِّدُ المِصعد والمِهبط في الخليّة.

ب. أُحَدِّدُ اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك، واتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة داخلَ المحلول باستخدام الأسهم.

جـ. أُحَدِّدُ القطبَ الذي تحدثُ عنده عمليّةُ التأكسد.

د . أُحَدِّدُ القطبَ الذي تتكوَّنُ عنده ذرّاتُ العنصر M.

5- عند تنقيةِ قوالبَ منَ النيكل باستخدام عمليّة التحليل الكهربائي:

أ . ما القطبُ الذي يجب أن تمثِّلَهُ القوالبُ غيرُ النقيّة؟

ب. ما المادَّةُ المُستخدَمَةُ في القطب الآخر؟

جـ. **أقترحُ** محلولًا يمكن استخدامُهُ في هذه الخليّة.

- **إجابات أسئلة مراجعة الدرس :**

1) مبدأ عمل خلية التحليل الكهربائي : تحوّل خلية التحليل الكهربائي الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية من خلال إمرار تيار كهربائي في محلول أو مصهور مادة كهرلية مما يؤدي إلى حدوث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي .

2) أ) لأن الماء أسهل تأكسداً من أيونات F^- إذ أن جهد تأكسده (1.23 V -) أعلى من جهد تأكسد أيونات الفلوريد F^- (2.87 V -) وبالتالي لا تتأكسد أيونات الفلوريد F^- عند التحليل الكهربائي لمحلول NaF.

ب) نظراً للإرتفاع الكبير لدرجة انصهار أكسيد الألمنيوم (الألومينا) Al_2O_3 مما يتطلب إذابته في مصهور مادة الكريوليت لتخفيف درجة إنصهاره ثم إجراء عملية تحليل كهربائي للمصهور وجميع هذه العمليات تتطلب كميات كبيرة من الطاقة ، أما إعادة تدوير الألمنيوم فيتطلب صهر المواد المصنوعة من الألمنيوم فقط ، ونظراً لإنخفاض درجة انصهار الألمنيوم مقارنة بأكسيد الألمنيوم فإنها تحتاج لكميات قليلة من الطاقة .

3) نواتج التحليل الكهربائي :

أ) محلول MgI_2

عند المصعد : اليود

عند المهبط : غاز الهيدروجين ومحلول $Mg(OH)_2$

ب) عن المصعد : غاز الأكسجين ومحلول HNO_3

عند المهبط : الرصاص Pb

ج) عند المصعد : غاز الأكسجين ومحلول H_2SO_4

عند المهبط : الكوبلت Co

4) أ) المصعد B

المهبط : A

ب) اتجاه حركة الإلكترونات من المصعد B إلى المهبط A . أما حركة الأيونات فتتحرك أيونات X^- باتجاه القطب الموجب B أما الأيونات M^+ فتتحرك باتجاه القطب السالب A .

ج) B

د) A

5) أ) المصعد

ب) قطب نقي من النيكل Ni

ج) نترات النيكل .

مراجعةُ الوحدةِ

1 . **أُقارنُ** بينَ الخليّة الجلفانيّة وخليّة التحليل الكهربائي من حيثُ:

أ - تحوُّلاتُ الطاقة في كلٍّ منهما.

ب - شحنةُ كلٍّ منَ المِصعد والمِهبط.

جـ- تلقائيّةُ تفاعل التأكسد والاختزال.

د - إشارةُ جهد الخليّة المعياري E°_{cell}.

2 . **أُفَسِّر:**

أ - يُخلَطُ أكسيدُ الألمنيوم Al_2O_3 بالكريوليت خلالَ عمليّة استخلاص الألمنيوم بطريق هول – هيرولیت.

ب - تَفقِدُ بطّاريّةُ السيّارة صلاحيّتَها بعد بضع سنوات منَ استخدامها، رغمَ إمكانيّة إعادة شحنها نظريًّا عددًا لا نهائيًّا منَ المرّات.

3 . تمثلُ المعادلةُ الكيميائيّة الآتية تفاعلَ تأكسد واختزال؛ أدرُسُهُ جيِّدًا، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة التي تليه:

$$MnO_4^-{}_{(aq)} + Cl^-{}_{(aq)} \rightarrow Mn^{2+}{}_{(aq)} + Cl_{2(g)}$$

أ - أكتبُ نصفي تفاعل التأكسد والاختزال.

ب - أكتبُ معادلة التفاعل الكُلي الموزونة. (في وسط حمضي).

جـ- هل يحدث هذا التفاعلُ تلقائيًّا؟ (أستعينُ بجدول جهود الاختزال المعياريّة).

4 . أدرسُ معادلةَ التفاعل الكيميائي، التي تتضمَّنُ رموزًا افتراضيّة للفلز X واللافلز Y وعنصر الهيدروجين، ثمّ أُجيبُ عنِ الأسئلة التي تليها:

$$2X_{(s)} + 3H_2Y \rightarrow X_2Y_3 + 3H_{2(g)}$$

أ - أحدد التغير في عددَ تأكسد X.

ب - أحدد التغير في عددَ تأكسد H.

جـ- أُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد.

5 . **أُوازنُ** معادلات التأكسد والاختزال الآتية بطريقة نصف التفاعل، وَأُحَدِّدُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المُختزل:

أ - $MnO_4^{2-} \rightarrow MnO_4^- + MnO_2$ (وسط قاعدي)

ب - $S_2O_3^{2-} + IO_3^- + Cl^- \rightarrow ICl_2^- + SO_4^{2-}$ (وسط حِمضي)

6 . خليّة جلفانيّة مكوَّنة من نصف خليّة الرصاص $Pb^{2+}|Pb$ ونصف خليّة الكروم $Cr^{3+}|Cr$. إذا عَلِمْتُ أنَّ تركيزَ أيونات Cr^{3+} يزدادُ عند تشغيل الخليّة؛ أُجيبُ عمّا يأتي:

أ - أُحَدِّدُ المِصعدَ والمِهبط في الخليّة الجلفانيّة.

ب - **أتوقعُ** التغيُّرَ على كتلة قطب الرصاص معَ استمرار تشغيل الخليّة.

جـ- أكتبُ معادلة موزونة تمثلُ التفاعلَ الكُلي الذي يحدث في الخليّة.

د - أستعين بجدول جهود الاختزال المعياريّة في حساب جهد الخليّة المعياري (E°_{cell}).

مراجعةُ الوحدةِ

7 . يبيِّنُ الجدولُ المجاور القِيَمَ المطلقة لجهود الاختزال المعياريّة E° للعناصر (A, B, C, D, M). إذا عَلِمْتُ أنَّ ترتيبَ العناصر حَسَبَ قوَّتها كعوامل مختزلة، هو: D>B>M>A>C، وأنه عند وصل القطب M بقطب الهيدروجين المعياري تتحرَّكُ الإلكتروناتُ من M إلى قطب الهيدروجين، فَأُجيبُ -مُستعينًا بالمعلومات السابقة- عنِ الأسئلة الآتية:

نصف تفاعل الاختزال	$\lvert E^{\circ} \rvert$ V
$A^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightleftharpoons A_{(s)}$	0.80
$B^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \rightleftharpoons B_{(s)}$	1.66
$C^{3+}_{(aq)} + 3e^{-} \rightleftharpoons C_{(s)}$	1.5
$D^{+}_{(aq)} + e^{-} \rightleftharpoons D_{(s)}$	2.71
$M^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightleftharpoons M_{(s)}$	0.28

أ - أكتبُ إشارةَ قِيَمِ جهود الاختزال المعياريّة E° للعناصر A, B, C, D, M.

ب - **أستنتج**. ما العنصرُ الذي يمكنُ استخدامُ وعاء مصنوع منه لحفظ محلول يحتوي على أيونات A^{+}؟

جـ- **أستنتج**. ما العاملُ المؤكسد الذي يؤكسد D ولا يؤكسدM؟

8 . أدرسُ المعادلاتِ والمعلوماتِ المبيَّنَةَ في الجدول؛ ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة التي تليها:

المعادلة	المعلومات
$Ca + Cd^{2+} \rightarrow Ca^{2+} + Cd$	تفاعل تلقائي
$2Br^{-} + Sn^{2+} \rightarrow Br_2 + Sn$	تفاعل غير تلقائي
$Cd + Sn^{2+} \rightarrow Cd^{2+} + Sn$	تفاعل تلقائي

أ - أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.

ب - أُرَتِّبُ العواملَ المُختزَلَةَ تصاعديًّا حَسَبَ قوَّتها.

جـ- **أستنتج**. هل تؤكسدُ أيوناتُ الكادميوم Cd^{2+} أيوناتِ البروم Br^{-}؟

د - **أُقارن**. ما العنصران اللذان يكوِّنان خليّةً جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟

9 . خليّةُ تحليل كهربائي تحتوي على محلول بروميد الليثيوم LiBr. بالرُّجوع إلى جدول جهود الاختزال المعياريّة، أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

أ - أكتبُ معادلة التفاعل الذي يحدثُ عند المِصعد.

ب - **أستنتج**. ما ناتجُ التحليل الكهربائي عند المِهبط؟

جـ- **أحسب**. ما مقدارُ جهد البطّاريّة اللازم لإحداث عمليّة التحليل الكهربائي؟

10. عند استخدام آلة تصوير ذات بطّاريّة قابلة لإعادة الشحن، أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية :

أ. **أُقارن** تحوُّلاتِ الطاقة خلال عمليّتي الاستخدام والشحن.

ب. **أُفَسِّر**. تعملُ هذه البطّاريّةُ كخليّة جلفانيّة وخليّة تحليل كهربائي.

11. أدرسُ المعلوماتِ الآتيةَ المتعلِّقَةَ بالفِلِزّات ذاتِ الرُّموز الافتراضيّة الآتية: Y , A , X , B , Z , C، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة التي تليها:

أ - الفِلِزُّ A يختزِلُ أيونات X^{2+} ولا يختزِلُ أيونات Y^{2+}.

ب - عند مفاعلة الفِلِزّين X , B معَ محلول حِمض الهيدروكلوريك المخفَّف، يتفاعلُ X وينطلقُ غازُ الهيدروجين، أمّا B فلا يتفاعل.

جـ- عند تكوين خليّة جلفانيّة منَ الفِلِزّين C و Y، تتحرَّكُ الأيوناتُ السالبة منَ القنطرة الملحيّة باتجاه نصف خليّة C.

مراجعةُ الوحدةِ

د - يمكنُ استخلاصُ الفِلِزّ Z من محاليل أملاحه باستخدام الفِلِزّ B.

1) أستنتجُ اتجاه حركة الإلكترونات في الخليّة المكوَّنةِ منَ القطبين C , X.

2) أستنتجُ القطبَ الذي تزداد كتلتُهُ في الخليّة المكوَّنةِ منَ القطبين A , B.

3) أُقارن. ما القطبان اللذين يُشَكِّلان خليّة جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟

4) أتنبَّأُ. هل يمكنُ تحضيرُ الفِلِزّ Z بالتحليل الكهربائي لمحلول ZNO_3؟ أُفسِّر إجابتي.

5) أستنتج. هل يتفاعلُ الفِلِزُّ A معَ محلول حِمض الهيدروكلوريك وينطلقُ غازُ الهيدروجين؟ أُفسِّر إجابتي.

6) أتنبَّأُ. هل يمكنُ تحريكُ محلول نترات الفِلِزّ $Y(NO_3)_2$ بِملعقة منَ الفِلِزّ B؟

12. استُخدِمَت أنصافُ الخلايا المعياريّة للفِلِزّات ذاتِ الرُّموز الافتراضيّة الآتية:

T , R , D , M , L، مع نصف خليّة الفِلِزّ E المعياريّة لتكوين خلايا جلفانيّة، وكانت النتائج كما في الجدول الآتي. أدرُسُهُ جيِّدًا، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

الخليّة الجلفانيّة	E°_{cell} V	المِصعد
E-D	0.16	E
E-L	0.78	E
T-E	1.93	T
E-M	0.30	E
R-E	0.32	R

أ - أُرَتِّبُ الفِلِزّاتِ متضمِّنَةً الفِلِزَّ E حَسَبَ قوَّتها كعوامل مختزلة.

ب - أحسبُ جهدَ الخليّة المعياري E°_{cell} للخليّة المكوَّنةِ منَ الفِلِزّين T,R.

جـ - أُقارن. ما الفِلِزّان اللذان يُشَكِّلان خليّة جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري؟

د - أستنتج. هل يمكنُ حفظُ محلول أحد أملاح الفِلِزّ D في وعاء منَ الفِلِزّ R؟ أُفسِّر إجابتي.

13. أختارُ الإجابة الصحيحة لكلّ فقرة منَ الفقرات الآتية:

1 . المادَّةُ التي اختُزِلَت في التفاعل الآتي: $TiO_2 + 2Cl_2 + C \rightarrow TiCl_4 + CO_2$، هي:

أ . C ب . Cl_2 جـ . TiO_2 د . $TiCl_4$

2 . عددُ تأكسد البورون B في المركَّب $NaBH_4$ يساوي:

أ . +3 ب . +5 جـ . −5 د . −3

3 . إحدى العبارات الآتية صحيحة:

أ . العاملُ المختزَلُ يكتسب إلكترونات في التفاعل الكيميائي.

ب . العاملُ المؤكسَدُ يفقد إلكترونات في التفاعل الكيميائي.

جـ . تحتوي جميعُ تفاعلات التأكسد والاختزال على عامل مؤكسد وعامل مختزل.

د . يحتوي تفاعلُ التأكسد والاختزال على عامل مؤكسد وعامل مختزل فقط.

4 . العبارة الصحيحة في معادلة التفاعل الموزونة الآتية: $IO_3^-{}_{(aq)} + 5I^-_{(aq)} + 6H^+_{(aq)} \rightarrow 3I_{2(aq)} + 3H_2O_{(l)}$ هي:

أ . عددُ تأكسد اليود في IO_3^- يساوي +7.

ب . العامل المؤكسد في التفاعل هو I^-.

جـ . يُعَدُّ التفاعلُ تأكسدًا واختزالًا ذاتيًّا.

د . تأكسدت ذرّات اليود (أو أيوناته) واختُزِلَت في التفاعل.

مراجعةُ الوحدةِ

5 . التفاعل الذي يسلكُ فيه الهيدروجين كعامل مؤكسد هو:

أ · $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$ ب · $Cu^{2+} + H_2 \rightarrow Cu + 2H^+$

جـ · $H_2 + 2Na \rightarrow 2NaH$ د · $HCHO + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3OH$

6 . مقدارَ التغيُّر في عدد تأكسد ذرّة الكربون (C)، عند تحول الأيون $C_2O_4^{2-}$ إلى جزيء CO_2 هي:

أ · 0 ب · 1 جـ · 2 د · 4

7 . أحدُ التغيُّرات الآتية يحتاج إلى عامل مؤكسد:

أ · $PbO_2 \rightarrow Pb^{2+}$ ب · $CrO_4^{2-} \rightarrow Cr(OH)_4^-$

جـ · $BiO^+ \rightarrow Bi$ د · $H_2O_2 \rightarrow O_2$

8 . أحدُ التفاعلات غير الموزونة الآتية يمثلُ تفاعلَ تأكسد واختزال ذاتي:

أ · $NO + O_2 \rightarrow NO_2$ ب · $H_2O + NO_2 \rightarrow HNO_3 + NO$

جـ · $MnO_4^- + Mn^{2+} \rightarrow MnO_2$ د · $OF_2 + H_2O \rightarrow O_2 + HF$

9 . عددُ مولات الإلكترونات اللازمة لموازنة نصف التفاعل الآتي في وسط حِمضي:

$FeO_4^{2-} \rightarrow Fe^{3+}$، هو:

أ · 2 ب · 4 جـ · 3 د · 1

10. عددُ مولات أيونات الهيدروكسيد OH^- اللازم إضافتُها إلى طرفي المعادلة لموازنة التفاعل الآتي في وسط قاعدي:

$MnO_4^- + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + O_2$، هو:

أ · $8OH^-$ ب · $6OH^-$ جـ · $4OH^-$ د · $2OH^-$

11. إذا كان التفاعلُ الآتي يحدث في إحدى الخلايا الجلفانيّة $A + B^{2+} \rightarrow A^{2+} + B$، فإن:

أ · القطبَ السالب هو B ب · كتلةَ القطب A تزداد

جـ · تركيزَ أيونات A^{2+} يزداد د · الإلكتروناتِ تتحرَّكُ منَ القطب B إلى القطب A

- يتضمَّنُ الجدولُ المجاور ثلاثَ خلايا جلفانيّة يُشَكِّلُ الفِلِزُّ X أحدَ أقطابها معَ أحدِ الفِلِزّات ذات الرُّموز الافتراضيّة L، N، M ومعلومات عنها. أدرُسُهُ جيِّدًا، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة 12 و 13 و14.

قطبا الخليّة	القطب الذي يُشَكِّلُهُ الفِلِزّ X	E°_{cell} V
M-X	مهبط	0.78
X-N	مِصعد	0.15
X-L	مِصعد	0.74

12. أُرَتِّبُ الفِلِزّاتِ X, L, N, M حَسَبَ قوَّتها كعواملَ مختزلة:

أ · X>L>N>M ب · M>X>N>L

جـ · M>N>L>X د · L>N>X>M

13. جهدُ الخليّة M–N المعياري E°_{cell} بالفولت يساوي:

أ . 0.63 ب . 0.93 جـ . 0.04 د . 0.59

14. الفِلِزُّ الذي يمكن حفظُ محلول أحد أملاحه في وعاء مصنوع من أيٍّ منَ الفِلِزّات الثلاثة المتبقيّة، هو:

أ . X ب . L جـ . N د . M

15. الفِلِزُّ الذي يوفِّرُ لجسر حديدي أفضلَ حماية مِهبطيّة منَ التآكل:

أ . Au ب . Sn جـ . Mg د . Cu

نصف تفاعل الاختزال	E° V
$Ag^{+} + e^{-} \rightleftharpoons Ag$	0.80
$Cu^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu$	0.34
$Zn^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Zn$	−0.76
$2H_2O + 2e^{-} \rightleftharpoons H_2 + 2OH^{-}$	−0.83
$Br_2 + 2e^{-} \rightleftharpoons 2Br^{-}$	1.07

- أدرسُ الجدولَ المجاور، الذي يتضمَّنُ بعضَ أنصاف تفاعلات الاختزال المعياريّة وجهودها، وأستخدمُهُ للإجابة عنَ الأسئلة 16 و 17.

16. عند التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الخارصين، فإنَّ الناتج عند المِهبط هو:

أ . Zn ب . H_2

جـ . Cl_2 د . OH^{-}

17. عند التحليل الكهربائي لمحلول يحتوي على الأيونات Ag^{+} ، Zn^{2+} ، Cu^{2+}، فإنَّ ذرّاتِها تبدأُ بالترسُّب عند المِهبط حَسَبَ الترتيب الآتي:

أ . $\overrightarrow{Zn, Ag, Cu}$ ب . $\overrightarrow{Cu, Ag, Zn}$ جـ . $\overrightarrow{Ag, Cu, Zn}$ د . $\overrightarrow{Ag, Zn, Cu}$

18. عندما يعادُ شحن بطّاريّة قابلة لإعادة الشحن تعملُ الخليّة كخليّة:

أ . حِمضيّة ب . قلويّة جـ . جلفانيّة د . تحليل كهربائي

19. جميعُ العبارات الآتية صحيحة، بالنسبة إلى الخليّة الجلفانيّة $Ba|Ba^{2+}||Ni^{2+}|Ni$، ما عدا:

أ . Ni^{2+} أقوى عامل مؤكسد ب– Ba أقوى عامل مختزل

جـ . تزدادُ كتلة القطب Ni د . $Ba|Ba^{2+}$ تمثلُ نصف خليّة الاختزال

20. العبارة الخاطئة من العبارات الآتية التي تصفُ ما يحدثُ في بطّاريّة أيون الليثيوم خلالَ عمليّة شحن البطّاريّة، هي:

أ . تتأكسدُ أيونات الكوبلت Co^{3+} إلى Co^{4+}. ب . يمثلُ أكسيد الكوبلت CoO_2 قطب المِهبط في أثناء الشحن.

جـ . تختزلُ أيونات الليثيوم Li^{+}. د . تتحرَّكُ أيوناتُ الليثيوم Li^{+} باتجاه نصف خليّة الجرافيت.

مراجعة الوحدة ص 132-136

س1

وجه المقارنة / نوع الخلية	الخلية الجلفانية	خلية التحليل الكهربائي
تحولات الطاقة	كيميائية إلى كهربائية	كهربائية إلى كيميائية
شحنة المصعد والمهبط	المصعد(−)، المهبط(+)	المصعد(+)، المهبط(−)
تلقائية التفاعل	تلقائي	غير تلقائي
اشارة E°_{cell}	موجبة	سالبة

س2

أ. لتخفيض درجة انصهار الألومينا Al_2O_3، وبالتالي تخفيض كلفة الطاقة اللازمة لعملية استخلاص الألمنيوم.

ب. نتيجة فقدان جزء من مكوناتها مثل $PbSO_{4(s)}$ وبالتالي عدم دخوله في التفاعل العكسي الذي يؤدي إلى إعادة شحن البطارية.

س3

أ. نصف تفاعل التأكسد/ مصعد: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

نصف تفاعل الاختزال/ مهبط: $5e^- + 8H^+ + MnO_4^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$

ب. معادلة التفاعل الكلي: $10Cl^- + 16H^+ + 2MnO_4^- \rightarrow 5Cl_2 + 2Mn^{2+} + 8H_2O$

ج. $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode} - E^{\circ}_{anode}$

$E^{\circ}_{cell} = 1.51 - 1.36 = 0.15\ V$

التفاعل تلقائي لأن جهد الخلية المعياري للتفاعل موجب.

س4

$\overset{0}{2X} + \overset{+1\ -2}{3H_2Y} \rightarrow \overset{+3\ -2}{X_2Y_3} + \overset{0}{3H_2}$

بالنظر إلى المعادلة: ألاحظ أن الفلز X حل محل الهيدروجين في H_2Y وتصاعد غاز الهيدروجين، أي أن ذرات X تأكسدت واختزلت ذرات الهيدروجين في H_2Y، أما Y فلم يتغير عدد تأكسده.

أ. التغير في عدد تأكسد X: من 0 ← 3+ (زاد).

ب. التغير في عدد تأكسد Y: لم يتغير (2−).

ج. العامل المؤكسد: H_2Y

س5

أ. $3MnO_4^{2-} + 2H_2O \rightarrow MnO_2 + 2MnO_4^- + 4OH^-$

العامل المؤكسد: MnO_4^{2-} ، العامل المختزل: MnO_4^{2-}

ب. $S_2O_3^{2-} + 2IO_3^- + 4Cl^- + 2H^+ \rightarrow 2ICl_2^- + 2SO_4^{2-} + H_2O$

العامل المؤكسد: IO_3^- ، العامل المختزل: $S_2O_3^{2-}$

س6

أ. المصعد Cr ، المهبط Pb.

ب. تزداد.

ج. $2Cr + 3Pb^{2+} \rightarrow 2Cr^{3+} + 3Pb$

د. $E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$

$E^\circ_{cell} = -0.13 + 0.73 = 0.60\ V$

س7

أ. قيم جهود الاختزال المعيارية للعناصر في الجدول:

رمز القطب	E° (V)
A	0.80
B	−1.66
C	1.5
D	−2.71
M	−0.28

ب. C ، ج. B^{+3}

س8

أ. Br_2 ، ب. $Ca > Cd > Sn > Br^-$

ج. لا ، د. Br_2 ،Ca

س9

$LiBr_{(aq)} \rightarrow Li_{(aq)} + Br^-_{(aq)}$

أ. تفاعل المصعد: $2Br^- \rightarrow Br_2 + 2e^-$

ب. تفاعل المهبط: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

ج. $E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$

$E^\circ_{cell} = -0.83 - 1.07 = -1.90\ V$

جهد البطارية اللازم يزيد عن (1.90 V).

س10

أ. خلال عملية استخدام البطارية تتحول الطاقة الكيميائية إلى كهربائية، وخلال عملية الشحن تتحول الطاقة الكهربائية إلى كيميائية.

ب. تعمل كخلية جلفانية خلال عملية الاستخدام وذلك لأن تفاعل التأكسد والاختزال التلقائي الذي يحدث فيها مولد للتيار الكهربائي مما يتيح استخدامها، أما عند الشحن فإنها تعمل كخلية تحليل كهربائي إذ أن التيار الكهربائي المار فيها يُحدث تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائيين يمثلان التفاعل العكسي لكل من تفاعلي التأكسد والاختزال الحادثين فيها أثناء الاستخدام وكذلك ينعكس التفاعل الكلي.

س11

ترتيب العناصر وفق جهود الاختزال المعيارية بناء على المعلومات: $C < Y < A < X < B < Z$

1) من القطب C إلى القطب X.

2) B.

3) C، Z.

4) نعم، جهد اختزال Z موجب أي أنه أكبر من جهد اختزال الماء (−0.83 V)، فيكون أسهل اختزالا من الماء، لذلك يمكن تحضيره بالتحليل الكهربائي لمحلول أحد أملاحه.

5) نعم، جهد الاختزال المعياري للقطب A أقل من جهد الاختزال المعياري لقطب الهيدروجين، لذلك يتأكسد A ويختزل أيونات الهيدروجين وينطلق غاز H_2.

6) نعم.

س12

أ. L > M > D > E > R > T.

ب. $E^{\circ}_{cell} = 1.93 - 0.32 = 1.61\ V$

ج. L – T

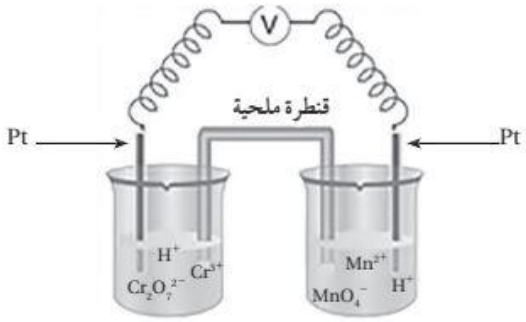
د. لا يمكن، لأن R عامل مختزل أقوى من D، لذلك يتأكسد R ويختزل أيونات D.

س13

رقم الفقرة	رمز الإجابة	رقم الفقرة	رمز الإجابة	رقم الفقرة	رمز الإجابة	رقم الفقرة	رمز الإجابة	رقم الفقرة	رمز الإجابة
1	ب	2	أ	3	ج	4	د	5	ج
6	ب	7	د	8	ب	9	ج	10	د
11	ج	12	ب	13	ب	14	د	15	ج
16	أ	17	ج	18	د	19	د	20	ب

أسئلةُ تفكير

1) أدرسُ الشكلَ المجاور، الذي يمثلُ خليّة جلفانيّة تتكوَّنُ من نصف خليّة $MnO_4^-|Mn^{2+}$ في وسط حِمضي، ونصف خليّة $Cr_2O_7^{2-}|Cr^{3+}$ في وسط حِمضي؛ حيث استُخدِمَ في كلِّ نصف خليّة قطبًا منَ البلاتين الخامل، مُستعينًا بأنصاف تفاعلات الاختزال وجهودها المعياريّة الآتية:



$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O \quad E^\circ = 1.51\ V$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O \quad E^\circ = 1.33\ V$$

أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

أ) أكتبُ نصفَ تفاعل التأكسد.

ب) أُحَدِّدُ العامل المختزل.

ج) أُحَدِّدُ العامل المؤكسد.

د) أُحَدِّدُ اتجاه حركة الإلكترونات في الدارة الخارجيّة.

هـ) أحسبُ جهدَ الخليّة المعياري E°_{cell}.

2) أُوازنُ معادلات التفاعل الآتية بطريقة نصف التفاعل، وَأُبَيِّنُ العاملَ المؤكسد والعاملَ المختزل:

أ)

$$IPO_4 \xrightarrow{H^+} I_2 + IO_3^- + H_2PO_4^-$$

ب)

$$ClO_3^- + N_2H_4 \xrightarrow{OH^-} NO_3^- + Cl^-$$

3) المعلوماتُ الآتية تتعلَّقُ بالعناصر ذات الرموز الافتراضية الآتية (A, B, C, D)، وجميعُها تكون أيوناتٍ ثنائيّةً موجبة في محاليلها:

أ) لا يمكنُ تحريكُ محلول $A(NO_3)_2$ بِمِلعقة من C.

ب) جهدُ الخليّة المعياري للخليّة الجلفانيّة المكوَّنَةِ من (C وB) أقلُّ من جهد الخليّة المعياري للخليّة الجلفانيّة المكوَّنَةِ من (D و B)، وقد لوحِظَ في الخليتين نقصٌ في كتلة القطب B.

ج) لوحِظَ عند تحليل محلول كلٍّ من ABr_2 و DBr_2 كهربائيًّا تصاعدُ غاز H_2 عند المِهبط في المحلول الأول، وترسُّبُ D عند المِهبط في المحلول الثاني.

أدرُسُها جيِّدًا، ثمَّ أُجيبُ عنِ الأسئلة الآتية:

1 – **أُرَتِّبُ** العناصرَ (A, B, C, D) حَسَبَ قوَّتها كعواملَ مختزلة.

2 – أُحَدِّدُ أقوى عامل مؤكسد.

3 – **أتنبَّأُ**. هل يمكن حفظُ محلول $B(NO_3)_2$ في وعاء مصنوع منَ الفِلِزّ A؟ أُفَسِّرُ إجابتي.

4 – أُحَدِّدُ الفِلِزّين اللذين يكوِّنان خليّة جلفانيّة لها أعلى جهد خليّة معياري.

4) مُرِّرَ غازُ الكلور Cl_2 بضغط يساوي 1atm في محلول يحتوي على أيونات الفلوريد F^- وأيونات البروميد Br^- تركيزُ كلٍّ منهما 1M وعند درجة حرارة 25°C. مُستعينًا بأنصاف تفاعلات الاختزال وجهودها المعياريّة الآتية:

$$Cl_{2(g)} + 2e \rightleftharpoons 2Cl^-_{(aq)} \qquad E^\circ = 1.36\ V$$

$$F_{2(g)} + 2e \rightleftharpoons 2F^-_{(aq)} \qquad E^\circ = 2.87\ V$$

$$Br_{2(g)} + 2e \rightleftharpoons 2Br^-_{(aq)} \qquad E^\circ = 1.07\ V$$

أَكتبُ المعادلةَ الكُلّيّة الموزونة للتفاعل المتوقَّع. أُبَرِّرُ إجابتي.

5) أدرسُ الشكلَ المجاورَ، الذي يمثلُ الخليّة الجلفانيّة المُمثلةَ بالرَّمز الآتي في الظروف المعياريّة، ثمَّ أُجيبُ عن الأسئلة الآتية:

$Zn|\ Zn^{2+}\ ||\ 2H^{+}_{(aq)}|H_{2\,(g)}\ |Pt$

أ) ما تركيزُ أيونات Zn^{2+} المستخدَمَةِ في نصف خليّة الخارصين المعياريّة؟

ب) **أتنبَّأُ**. هل يمكنُ استخدامُ محلول مشبع من كبريتات النحاس $CuSO_4$ في القنطرة الملحيّة المستخدَمَةِ في الخليّة الجلفانيّة؟ **أُفَسِّرُ** إجابتي. جهد الاختزال المعياريّ للنحاس $(E^\circ = 0.34\ V)$.

6) أدرسُ الجدولَ المجاور، الذي يتضمَّنُ بعضَ أنصاف تفاعلات الاختزال وجهودها المعياريّة، ثمَّ أُجيبُ عنَ الأسئلة الآتية:

نصف تفاعل الاختزال	E° V
$Mn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Mn$	-1.18
$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	- 0.44
$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	- 0.83
$I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-$	0.54
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-$	0.40
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1.23
$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2.71

أ) **أتنبَّأُ**. هل يمكنُ تحضيرُ المنغنيز Mn بالتحليل الكهربائي لمحلول MnI_2؟ **أُفَسِّرُ** إجابتي.

ب) أكتبُ معادلةً كيميائيّة موزونة تمثلُ نصفَ تفاعل الاختزال في خليّة التحليل الكهربائي لمحلول $FeCl_2$.

ج) أكتبُ معادلةً كيميائية كُليّة موزونة تمثلُ نواتجَ التحليل الكهربائي لمحلول NaOH.

د) **أتوقَّع**. هل يحدثُ تفاعلُ التأكسد والاختزال في خليّة التحليل الكهربائي لمصهور MnI_2، إذا زُوِّدَت بجهد مقدارُه 1.5 V؟ **أُبَرِّرُ** إجابتي.