



## الخلايا الجلفانية

## الدرس الثاني

هو عبارة عن أجهزة أو أدوات تستخدم لإجراء تفاعل تأكسد واختزال وما يرافق لك من تحولات في الطاقة من إنتاج طاقة كهربائية أو استهلاك طاقة كهربائية.

**الخلايا الكهروكيميائية:**

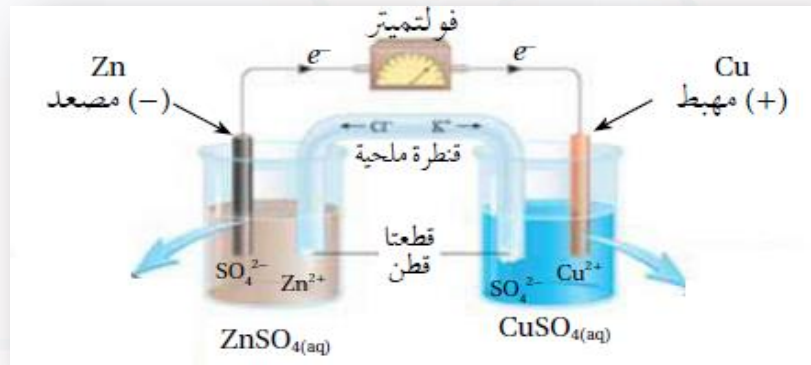
**أنواع الخلايا الكهربائية:**

2 خلايا التحليل الكهربائي

1 الخلايا الجلفانية

**أولاً: الخلايا الجلفانية**

- ◀ هي جهاز يستخدم لإحداث تفاعل تأكسد واختزال وما يصاحبه من انبعاث للطاقة الكهربائية.
- ◀ يحدث فيها تفاعل التأكسد والاختزال بشكل تلقائي.
- ◀ تتحول الطاقة في الخلية الجلفانية من (كيميائية ← كهربائية)
- ◀ نستخدم الخلايا الجلفانية في مجالات واسعة في حياتنا، ومن أهم التطبيقات العملية على الخلايا الجلفانية: البطاريات بأنواعها (بطارية الحاسوب والهاتف الخليوي)



**معلومات عن الخلية الجلفانية:**

- 1 الخلية الجلفانية تستخدم لقياس الطاقة الكهربائية الناتجة عن التفاعل الكيميائي.
- 2 وظيفة القنطرة الملحية:
  - ◀ إيصال محاليل لوعائين (محاليل نصفي الخلية)
  - ◀ معادلة الشحنات الكهربائية بين نصفي الخلية الجلفانية.
- 3 المصعد: القطب الذي يحدث عليه تأكسد في الخلية الكهروكيميائية ، وإشارته (سالبة) المهبط: القطب الذي يحدث عليه اختزال في الخلية الكهروكيميائية ، وإشارته (موجبة)





- 4 عند إيصال أقطاب الخلية عبر أسلاك التوصيل، وإيصال محلولي الخلية في نصفي التفاعل عبر أنبوب U وعملية القنطرة الملحية **يتم إغلاق الخلية الجلفانية.**
- لقد عبر الكيميائيون عن الخلية الغلفانية بطريقة مختصرة وسهلة لوصفها (الرمز التعبيري للخلية) حسب الآتي:



### خلاصة مهمة جدا



المهبط	المصعد
تختزل ذراته	تتأكسد ذراته
يقل [أيوناته]	يزداد [أيوناته]
بعد اختزال أيوناته، تترسب ذراته عليه	يتآكل، يذوب في المحلول
تزداد كتلته	تقل كتلته
تهبط عليه الإلكترونات	تصعد منه الإلكترونات
القطب الموجب في الخلية	القطب السالب في الخلية
معادلة اختزاله: $\text{Cu}^{+2} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$	معادلة تأكسده: $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{+2} + 2e^-$
التعبير الرمزي $(\text{Cu}^{+2} \text{Cu})$	التعبير الرمزي $(\text{Zn} \text{Zn}^{+2})$

### مفاهيم مهمة يجب الانتباه إليها:



- التأكسد: فقد الإلكترونات أو زيادة في عدد تأكسدها
- الاختزال: كسب الإلكترونات أو نقصان في عدد تأكسدها
- تفاعل التأكسد والاختزال: تفاعل كيميائي تحدث فيه عمليتا التأكسد والاختزال معاً.
- تلقائية التفاعل: حدوث التفاعل، وتكون النواتج دون الحاجة إلى طاقة كهربائية لإحداثه.
- الخلايا الكهروكيميائية: أجهزة أو أدوات تحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال منتجة للطاقة الكهربائية أو مستهلكة لها.
- العامل المختزل: المادة التي تختزل دارة أخرى بالتفاعل الكيميائي، إذ تخسر إلكترونات المادة التي تختزلها وتحدث له عملية تأكسد.
- العامل المؤكسد: المادة التي تؤكسد دارة أخرى بالتفاعل الكيميائي، إذ تكتسب إلكترونات من المادة التي تؤكسدها وتحدث له عملية اختزال.
- الكيمياء الكهربائية: أحد فروع علم الكيمياء الذي يهتم بدراسة المتحولات بين الطاقة الكيميائية والكهربائية الناتجة من تفاعلات التأكسد والاختزال والتطبيقات العملية المرتبطة بها.
- نصف التفاعل: جزء من تفاعل التأكسد والاختزال، يبين المادة التي تأكسدت ونواتج عملية التأكسد وعدد  $e^-$  المفقودة أو المواد التي اختزلت ونواتج عملية الاختزال، وعدد  $e^-$  المكتسبة.
- نصف الخلية: جزء من الخلية يحدث فيها نصف تفاعل تأكسد أو نصف تفاعل اختزال.





## جهد الخلية الجلفانية :



التيار الكهربائي في الخلية الجلفانية ينتج بسبب دفع الإلكترونات للتحرك من قطب المصعد (anode) إلى قطب المهبط (cathode) خلال التفاعل الكيميائي عبر الأسلاك .

القوة المسؤولة عن دفع الإلكترونات للتحرك من قطب المصعد إلى قطب المهبط تسمى بـ:

### (القوة الدافعة الكهربائية للخلية)

القوة الدافعة الكهربائية: هي أكبر فرق لقيمة الجهد الكهربائي بين قطبي الخلية الجلفانية ويقاس بوحدة الفولت (v)

لكل قطب من أقطاب الخلية ميل للاختزال يسمى بـ (جهد الاختزال) ويرمز له بالرمز (E-reduction)

لكل قطب من أقطاب الخلية ميل للتأكسد يسمى بـ (جهد التأكسد) ويرمز له بالرمز (E-oxidation)

## جهد الخلية الجلفانية:



يعد مقياساً لقدرة الخلية على إنتاج تيار كهربائي، ويقاس بوحدة (v)

هو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بين قطبي الخلية بسبب فرق الجهد بين القطبين.

الفرق بين جهد اختزال كل من التفاعلين يساوي جهد الخلية ويرمز له بـ (E-cell)

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{reduction}}(\text{cathode}) - E_{\text{reduction}}(\text{anode})$$

للحصول على قيم جهود الخلايا بشكل دقيق (باختلاف الأقطاب) واستخدامها كمرجع للمقارنة بين الخلايا الجلفانية وجهودها، تم قياس جهد الخلايا في ظروف معيارية وهي:

- 1 درجة الحرارة (25°C)
- 2 الضغط الجوي للغاز (1atm)
- 3 تراكيز الأيونات (1M)

## العوامل المؤثرة على جهد الخلية:



- 1 درجة الحرارة
- 2 الضغط الجوي للغاز إن وجد
- 3 تراكيز الأيونات

## وبناءً على ذلك فإن:

يرمز لجهد الخلية في الظروف المعيارية بـ (E° cell) (Standard cell Potential)

يرمز لجهد التأكسد في الظروف المعيارية بـ (E° oxidation)

يرمز لجهد الاختزال في الظروف المعيارية بـ (E° reduction)

تصبح معادلة حساب جهد الخلية المعياري بـ

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{reduction}}(\text{cathode}) - E^{\circ}_{\text{reduction}}(\text{anode})$$

يرمز لمعادلة حساب جهد الخلي المعياري بـ الاختصار الآتي:

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cathode}} - E^{\circ}_{\text{anode}}$$

## توضيح مهم:



دائماً نصف الخلية التي يحدث فيها اختزال تمتلك جهد اختزال أعلى

دائماً نصف الخلية التي يحدث فيها تأكسد تمتلك جهد اختزال أقل







## توضيح هام جدا

من المهم معرفة أن جهد اختزال القطب هو يمثل سالب جهد تأكسد نفس القطب:

**مثال:**

- جهد اختزال  $Zn = -0.76V$

- جهد تأكسد  $Zn = +0.76V$

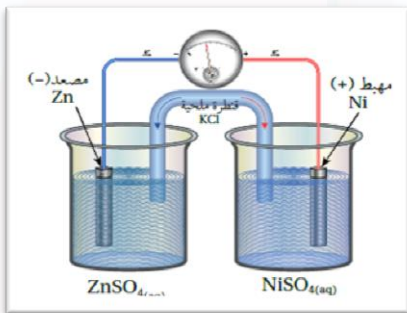
تعكس الإشارات لأن عملية الاختزال عكس عملية التأكسد

## مفاهيم مهمة:

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

**مثال (1):** ادرس الشكل المجاور الذي يمثل خلية جلفانية من قطبي الخارصين و النيكل ثم أجب عن الأسئلة

الآتية:



- حدد المصعد والمهبط في الخلية
- حدد اتجاه حركة الإلكترونات عبر الأسلاك
- اكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال
- حدد اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة عبر القنطرة الملحية
- ما التغير الذي حصل على كل من قطبي (  $Ni/Zn$  )

**مثال (2):** في الخلية الغلفانية الذي يحدث فيها التفاعل الآتي:



- اكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال
- حدد المصعد والمهبط في الخلية وحدد اتجاه حركة  $e^-$  في الدارة الخارجية
- حدد اتجاه حركة الأيونات السالبة عبر القنطرة الملحية
- ما هو القطب الذي تزداد كتلته؟
- اكتب الرمز التعبيري للخلية الجلفانية.

**مثال (3):** خلية غلفانية التعبير الرمزي لها هو  $(Al|Al^{+3}||3Ag^+|3Ag)$  ادرس لك ثم أجب عن الأسئلة الآتية:

- حدد المصعد والمهبط
- اكتب نصفي تفاعل التأكسد والاختزال
- حدد اتجاه حركة الأيونات السالبة عبر القنطرة الملحية
- حدد اتجاه حركة الأيونات السالبة عبر القنطرة الملحية
- ما هو رمز القطب الذي تزداد كتلته
- اكتب معادلة التفاعل الكلي للتأكسد والاختزال





مثال (4): على ماذا يدل على من الرموز الآتية:

$*Cr Cr^{+3}$	$*Zn^{+2} Zn$
:Cr	:Zn <sup>+2</sup>
:Cr <sup>+3</sup>	:Zn
$*Sn Sn^{+2}  2Ag^{+2} 2Ag$	$*Ni Ni^{+2}  Cu^{+2} Cu$
:Sn	:Ni
:Sn <sup>+2</sup>	:Ni <sup>+2</sup>
:2Ag <sup>+</sup>	:Cu <sup>+2</sup>
:2Ag	:Cu

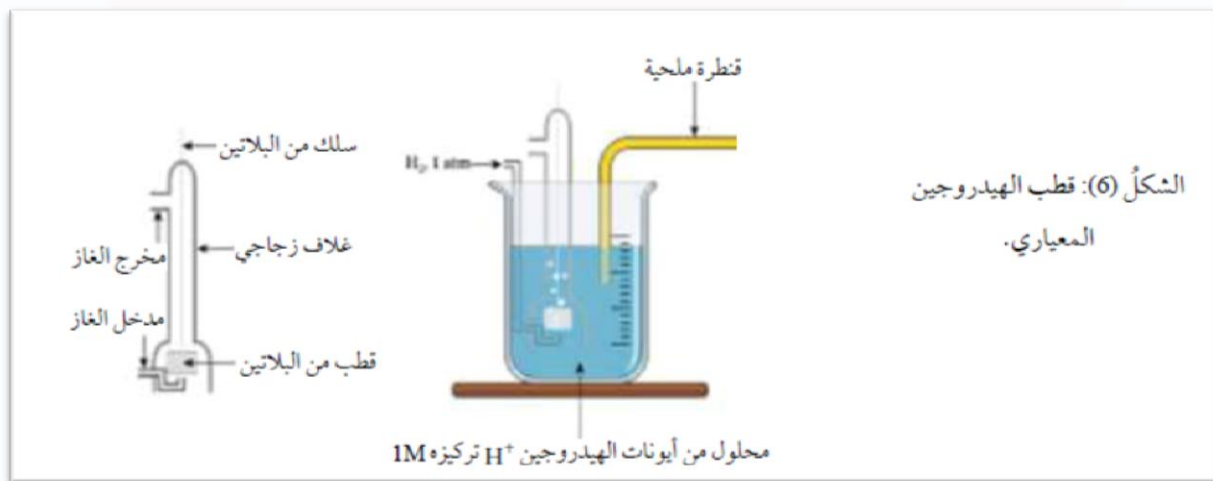
### قطب الهيدروجين المعياري

- لا يعني معرفة جهد الخلية المعياري معرفة أو قياس جهد اختزال أو تأكسد نصف خلية بشكل منفرد
- ولقياس جهد اختزال أقطاب العناصر الأخرى بشكل منفرد، اختار العلماء قطب مرجعي لذلك وهو قطب الهيدروجين المعياري.
- يتم استخدام قطب الهيدروجين المعياري مع أي قطب آخر لإيجاد جهد اختزال هذا القطب.
- اختار العلماء قطب الهيدروجين كقطب مرجعي لأن نشاطه الكيميائي متوسط بين العناصر، مما يجعله مصعد لبعض أقطاب العناصر ومهبط لأقطاب العناصر الأخرى.
- اصطلح العلماء أن (جهد الاختزال المعياري لقطب H<sub>2</sub> = جهد التأكسد المعياري لقطب H<sub>2</sub>) = صفر فولت

### (نصف خلية الهيدروجين)

### مكونات قطب الهيدروجين المعياري:

- وعاء يحتوي على حمض الهيدروكلوريك (HCl)
- صفحة من البلاتين (Pt) مغموسة في محلول HCl
- غاز H<sub>2</sub> الذي يضخ إلى المحلول عند ضغط للغاز يساوي 1 ضغط جوي (1atm) ودرجة حرارة 25°C



الشكل (6): قطب الهيدروجين المعياري.





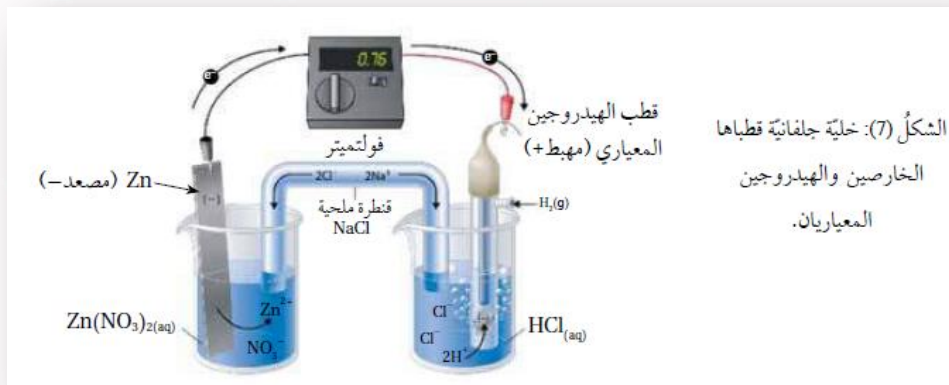
يمكن تمثيل التفاعل الي يحدث في نصف خلية الهيدروجين بالمعادلة الآتية:



### مفهوم قطب الهيدروجين المعياري:

هو قطب مرجعي اصطلاحه العلماء لاستخدامه في قياس جهود الاختزال المعيارية للأقطاب بشكل منفرد في أنصاف الخلية الغلفانية.

### آلية قياس جهد اختزال الخارصين بشكل منفرد باستخدام قطب الهيدروجين المعياري:



### استنتاج وتوضيح مهم:

- 1 لقياس **جهد اختزال قطب بشكل منفرد** يتم إيصاله في خلية غلفانية مع **قطب الهيدروجين المعياري**
- 2 ممكن أن يكون **قطب الهيدروجين مصعد** أو **مهبط** حسب ميل نصف الخلية الأخرى للتأكسد أو الاختزال
- 3 القطب الذي جهد اختزاله موجب **(أكبر من صفر)**، فإنه أكثر ميل لحدوث الاختزال من قطب الهيدروجين، إذاً هو مهبط لقطب الهيدروجين.
- 4 القطب الذي جهد اختزاله سالب **(أقل من صفر)**، فإنه أقل ميل لحدوث الاختزال من قطب الهيدروجين، إذاً هو مصعد لقطب الهيدروجين.
- 5 القطب الذي **جهد اختزاله أكبر** هو أكثر ميلاً لحدوث الاختزال وهو **(المهبط)** القطب الذي **جهد اختزاله أقل** هو أكثر ميلاً لحدوث التأكسد وهو **(المصعد)**





مفاتيح حل مهمة لتحديد أن قطب  $H_2$  مصعد أو مهبط:



### ملاحظات مهمة:

- 1 يرمز لقطب الهيدروجين عندما يتأكسد إلى  $(Pt|H_2|2H^+)$
- 2 يرمز لقطب الهيدروجين عندما يختزل إلى  $(2H^+|H_2|Pt)$
- 3 قراءة جهاز الفولتميتر تمثل فرق الجهد بين قطبي الخلية (جهد الخلية)، وقراءة جهاز الفولتميتر في الخلية الجلفانية هي قيمة موجبة (أكبر من الصفر)
- 4 عندما يكون جهد الخلية المعياري ( $E^\circ_{cell}$ ) موجب فهذا يعني أن تفاعل التأكسد والاختزال الذي يحدث في الخلية الغلفانية تلقائي الحدوث.
- 5 عندما يكون جهد الخلية المعياري ( $E^\circ_{cell}$ ) سالب فهذا يعني أن تفاعل التأكسد والاختزال الذي يحدث في الخلية الغلفانية غير تلقائي الحدوث، ويحتاج إلى مصدر كهربائي لحدوث التفاعل.

**مثال (1):** تم تكوين خلية غلفانية في الظروف المعيارية، قطباها من الخارصين والهيدروجين، وعند إغلاق الخلية الجلفانية كانت قراءة جهاز الفولتميتر  $(+0.76V)$ ، فإذا علمت أن القطب السالب هو الخارصين (Zn).

- 1 حدد المصعد والمهبط
- 2 أوجد جهد اختزال Zn وجهد تأكسد Zn
- 3 إلى ماذا تشير القيمة الموجبة لجهد اختزال النحاس ( $Zn^{+2}$ )

**مثال (2):** خلية غلفانية مكونة من نصف خلية الهيدروجين  $(2H^+|H_2|Pt)$  ونصف خلية الكاديوم  $(Cd^{+2}|Cd)$  المعيارين، احسب جهد اختزال Cd إذا علمت أن  $(E^\circ_{cell}=+0.4V)$ ، وإذا علمت أيضاً أن كتل قطب الكاديوم تناقصت بعد مرور فترة من الزمن على تشغيل الخلية.

**مثال (3):** في الخلية الغلفانية الممثلة بالرمز الآتية:  $(Pt|H_2|2H^+||Cu^{+2}|Cu)$  إذا علمت أن جهد الخلية المعياري  $(E^\circ_{cell}=+0.34V)$ ، أوجد جهد الاختزال المعياري للنحاس.







**مثال (4):** درس الجدول المجاور الذي يبين جهود اختزال الأقطاب (Cu/ H<sub>2</sub>/ Zn) ثم أجب

عن الأسئلة الآتية:

القطب	E° الاختزال
Al	-1.66V
H <sub>2</sub>	0V
Ag	+0.80V

1 حدد المصعد والمهبط في الخلايا الجلفانية المكونة من الأقطاب:

◀ (Ag / Al) ← المصعد ( ) المهبط ( )

◀ (Al / H<sub>2</sub>) ← المصعد ( ) المهبط ( )

2 أوجد جهد الخلية الجلفانية المكونة من الأقطاب (Al/ Ag) ؟

**مثال (5):** ادرس المعلومات في الشكل المجاور، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

E° reduction	نصف تفاعل الاختزال
-0.23	A <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → A
X	B <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → B
+0.85	C <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → C

أ) في خلية غلفانية قطباها (A/B)، إذا علمت أن جهد الخلية المعياري (E°cell = +0.09 V) ويحدث فيها التفاعل الكلي.



أجب عن الأسئلة الآتية:

1 حدد رمز القطب الذي تزداد كتلته.

2 حدد العامل المؤكسد

3 احسب E° اختزال القطب B

ب) تم عمل خلية غلفانية قطباها (C/B)

1 اكتب التعبير الرمزي عن الخلية الجلفانية

2 احسب E°cell

**مثال (6):** ادرس الجدول المجاور وأجب عما يليه من الأسئلة: أيونات الأقطاب هي: (Ni<sup>2+</sup>/ Mn<sup>2+</sup>/ Ag<sup>+</sup>/ H<sup>+</sup>)

رقم الخلية	اتجاه حركة e-	E° cell
1	Ag ← Ni	+1.03
2	Ni ← Mn	+0.95
3	H <sub>2</sub> ← Ni	+0.23

1 اكتب نصف التفاعل الي يحدث في نصف خلية المهبط في الخلية 3؟

2 حدد رمز العامل المؤكسد في خلية رقم 2؟

3 احسب E° اختزال الأقطاب (Ag/ Mn / Ni)؟

4 تم عمل خلية غلفانية قطباها (Ag/ Mn).

أ- اكتب نصف تفاعل التأكسد.

ب- احسب E° الخلية المعياري







ادرس الجدول الآتي، ثم أجب عن الأسئلة التي تليه: أيونات الأقطاب هي ( $\text{Sn}^{+2} / \text{Cu}^{+2} / \text{Zn}^{+2} / \text{H}^{+}$ )

**مثال (7):**

رقم الخلية	القطب A	القطب B	العامل المختزل	$E^{\circ}$ cell
1	Zn	Sn	Zn	0.62V
2	Zn	Cu	Zn	1.1 V
3	Cu	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	0.34V

1 أوجد قيمة جهد اختزال الأقطاب ( $\text{Sn} / \text{Cu} / \text{Zn}$ )؟

2 حدد رمز القطب الذي تزداد كتلته خلية رقم (1)؟

3 حدد رمز العامل المؤكسد في خلية رقم (2)؟

4 حدد اتجاه حركة  $e^{-}$  في خلية رقم (3)؟

5 تم عمل خلية غلفانية قطبها ( $\text{Cu} / \text{Sn}$ ):

أ- اكتب نصف تفاعل التأكسد في الخلية.

ب- حدد القطب الذي يزداد كتلته.

ج- احسب جهد الخلية المعياري  $E^{\circ}$  cell





## جدول جهود الاختزال المعيارية



**مفهومه:** هو يمثل ترتيب الأقطاب وفقاً لتزايد جهود الاختزال المعيارية لها من الأقل جهد اختزال إلى الأكثر جهد اختزال

الجدول (1): جهود الاختزال المعيارية عند درجة حرارة 25°C.

نصف تفاعل الاختزال				E° (V)
Li <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	e <sup>-</sup>	Li <sub>(s)</sub>	-3.05
K <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	e <sup>-</sup>	K <sub>(s)</sub>	-2.92
Ca <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Ca <sub>(s)</sub>	-2.76
Na <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	e <sup>-</sup>	Na <sub>(s)</sub>	-2.71
Mg <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Mg <sub>(s)</sub>	-2.37
Al <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3e <sup>-</sup>	Al <sub>(s)</sub>	-1.66
Mn <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Mn <sub>(s)</sub>	-1.18
2H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	2OH <sup>-</sup> + H <sub>2(g)</sub>	-0.83
Zn <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Zn <sub>(s)</sub>	-0.76
Cr <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3e <sup>-</sup>	Cr <sub>(s)</sub>	-0.73
Fe <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Fe <sub>(s)</sub>	-0.44
Cd <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Cd <sub>(s)</sub>	-0.40
Co <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Co <sub>(s)</sub>	-0.28
Ni <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Ni <sub>(s)</sub>	-0.23
Sn <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Sn <sub>(s)</sub>	-0.14
Pb <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Pb <sub>(s)</sub>	-0.13
Fe <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3e <sup>-</sup>	Fe <sub>(s)</sub>	-0.04
2H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	H <sub>2(g)</sub>	0.00
Cu <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Cu <sub>(s)</sub>	0.34
I <sub>2(s)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	2I <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	0.54
Fe <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	e <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	0.77
Ag <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	e <sup>-</sup>	Ag <sub>(s)</sub>	0.80
Hg <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	Hg <sub>(l)</sub>	0.85
Br <sub>2(l)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	2Br <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	1.07
O <sub>2(g)</sub> + 4H <sup>+</sup>	+	4e <sup>-</sup>	2H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	1.23
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> <sub>(aq)</sub> + 14H <sup>+</sup>	+	6e <sup>-</sup>	7H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> + 2Cr <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	1.33
Cl <sub>2(g)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	2Cl <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	1.36
Au <sup>3+</sup> <sub>(aq)</sub>	+	3e <sup>-</sup>	Au <sub>(s)</sub>	1.5
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub> + 8H <sup>+</sup>	+	5e <sup>-</sup>	4H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> + Mn <sup>2+</sup> <sub>(aq)</sub>	1.51
F <sub>2(g)</sub>	+	2e <sup>-</sup>	2F <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub>	2.87

تزداد قوة المؤكسدة

تزداد قوة العوامل المختزلة





### ملاحظات مهمة على جدول جهود الاختزال المعيارية:

- 1 أهم خطوة في جدول جهود الاختزال **ترتيب الأقطاب** حسب جهود اختزالها .
- 2 قطب الهيدروجين المعياري يقع في منتصف الجدول (**متوسط من حيث نشاطه الكيميائي**) حيث يفصل بين الأقطاب التي جهد اختزالها موجبة والأقطاب التي جهد اختزالها سالبة.
- 3 **أهم ما يستفاد من جدول جهود الاختزال المعيارية:**
  - أ) حساب جهد الخلية المعياري
  - ب) التنبؤ بتلقائية تفاعلات التأكسد والاختزال (سوف نتكلم عنه لاحقاً)
  - ج) مقارنة قوة العوامل المؤكسدة والمختزلة
- 4 بعد ترتيب الأقطاب حسب جهود اختزالها من **الأقل إلى الأكثر جهد اختزال** فإننا نلاحظ أنه:
  - أ) المصعد فوق والمهبط تحت.
  - ب) القطب الذي **جهد اختزاله أكبر** هو **المهبط** والقطب الذي **جهد اختزاله أقل** هو **المصعد**
  - ج) بزيادة جهد الاختزال للقطب ← يزداد الميل لحدوث الاختزال ← تزداد قوة العامل المؤكسد
  - د) بنقصان جهد الاختزال للقطب ← يزداد الميل لحدوث التأكسد ← تزداد قوة العامل المختزل
- 5 إذا طلب منك تحديد أقطاب لتكوين خلية غلفانية لها **أكبر جهد خلية** يتم اختيار (**قطب أقوى عامل مؤكسد، وقطب أقوى عامل مختزل**).
- 6 إذا طلب منك تحديد **أقطاب فلزية** لعمل خلية غلفانية لها **أكبر جهد خلية** يتم **استثناء اللافلز** من جدول جهود الاختزال المعطى في السؤال، ويتم تحديد الفلز و اللافلز من خلال الآتي:
  - أ) **الفلز:** أيونه موجب على يسار نصف تفاعل الاختزال، باستثناء  $H^+$  فهو لا فلز.
  - ب) **اللافلز:** أيونه سالب على يمين نصف تفاعل الاختزال.
- 7 إذا طلب منك تحديد أقطاب لعمل خلية جلفانية لها **أقل جهد خلية** غلفانية يتم اختيار أقرب قطبين من حيث قيمة جهد الاختزال لهم أو **بشكل أدق** يتم حساب جهد الخلية لكل **قطبين متتاليين** لإيجاد أقل  $E^{\circ}_{cell}$ .





### مثال توضيحي:

$\frac{1}{2}$ تفاعل الاختزال	$E^\circ$ الاختزال
$Mn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Mn$	-1.18V
$Fe^{+2} + 2e^- \longrightarrow Fe$	-0.44V
$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$	0V
$Cu^{+2} + 2e^- \longrightarrow Cu$	+0.34V
$Hg^{+2} + 2e^- \longrightarrow Hg$	+0.85V

بناءً على الجدول المجاور، حدد ما يلي:

- 1 أقوى عامل مؤكسد ( )
- 2 أقوى عامل مختزل ( )
- 3 أضعف عامل مؤكسد ( )
- 4 الأكثر ميل لحدوث الاختزال ( )
- 5 الأكثر ميل لكسب الإلكترونات ( )
- 6 الأكثر ميل لحدوث التأكسد ( )
- 7 قطبين يكونان خلية لها أكبر جهد. ( )
- 8 قطبين يكونان خلية لها أقل جهد. ( )

ادرس الجدول المجاور الذي يتضمن عدداً من أنصاف تفاعلات الاختزال وقيم جهود الاختزال المعيارية لكل منها، ادرسه ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:

### مثال (2):

نصف فاعل الاختزال	$E^\circ$ الاختزال
$Mn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Mn$	-1.18V
$Ag^+ + 1e^- \longrightarrow Ag$	+0.80V
$Zn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Zn$	-0.76V
$Al^{+3} + 3e^- \longrightarrow Al$	-1.66V
$2H^+ + 1e^- \longrightarrow H_2$	0
$Sn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Sn$	-0.14V
$Hg^{+2} + 2e^- \longrightarrow Hg$	+0.85
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	+1.36
$Pb^{+2} + 2e^- \longrightarrow Pb$	-0.13

- 1 حدد رمز أقوى عامل مؤكسد.
- 2 حدد رمز أضعف عامل مختزل.

3 تم عمل خلية غلفانية قطباها (Sn / Zn):

- أ) حدد رمز القطب الموجب.
- ب) اكتب نصف تفاعل الاختزال.
- ج) اكتب الرمز التعييري لـ الخلية الغلفانية.
- د) حدد العامل المؤكسد.
- هـ) احسب  $E^\circ$  الخلية المعيارية.

4 حدد رمز قطبين يكونان خلية لها:

أ) أكبر  $E^\circ_{cell}$

ب) أقل  $E^\circ_{cell}$

5 حدد رمز قطبين فلزيين يكونا خلية لها:

أ) أكبر  $E^\circ_{cell}$

ب) أقل  $E^\circ_{cell}$

6 أي من الآتي (Al / Hg / Zn) لا يستطيع تحريك غاز  $H_2$  من محلول HCl المخفف؟

7 أي من الآتي (Cl<sub>2</sub> / Hg / Sn) يستطيع تحريك غاز  $H_2$  من محلول HCl المخفف؟







### مثال (5):

ادرس الجدول المجاور الذي يمثل أنصاف تفاعلات الاختزال وقيم جهود الاختزال لها، ثم أجب عما يليه:

$\frac{1}{2}$ تفاعل الاختزال	$E^\circ$ الاختزال
$Mn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Mn$	$-1.18V$
$Ni^{+2} + 2e^- \longrightarrow Ni$	$-0.23 V$
$Cr^{+3} + 3e^- \longrightarrow Cr$	$-0.73V$
$Br_2 + 2e^- \longrightarrow 2Br^-$	$+1.07V$
$Ag^+ + 1e^- \longrightarrow Ag$	$+0.80V$

- حدد أقوى عامل مؤكسد وأضعف عامل مختزل.
- حدد الفلزات التي تحرر غاز  $H_2$  في محاليل حمضية.
- رتب العوامل المؤكسدة حسب قوتها.
- حدد الفلزين الذين يكونان خلية جلفانية لها أكبر  $E^\circ_{cell}$ .
- هل يمكن تحريك محلول كبريتات  $NiSO_4$  النيكل بملعقة من  $Cr$ ؟
- هل يمكن حفظ محلول  $AgNO_3$  في وعاء من  $Cr$ ؟
- هل يمكن لعنصر  $Cr$  تحضير  $Mn$  من أملاحه؟
- ما هو العنصر الذي لا يستطيع  $Br_2$  أكسدة ذراته؟
- هل يمكن حفظ أملاح الفضة في وعاء من النيكل؟
- حدد رمز فلزتين يكونان خلية خلفانية لها أكبر  $E^\circ_{cell}$ ؟

مثال (1): إذا كان العنصر  $Ni$  يختزل أيونات  $Cu^{+2}$ ، ولا يستطيع اختزال أيونات  $Zn^{+2}$ . حدد ترتيب هذه العناصر حسب قوتها كعوامل مختزلة؟

مثال (2): هل يمكن تحريك محلول كبريتات الخارصين ( $ZnSO_4$ ) بملعقة من النيكل ( $Ni$ ) إذا علمت أن:

$$E^\circ_{Ni} = -0.23V, E^\circ_{Zn} = -0.76V$$

مثال (3): هل يمكن حفظ محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) في وعاء من النحاس ( $Cu$ ) إذا علمت أن:

$$E^\circ_{Cu} = +0.34V, E^\circ_{Ag} = +0.80V$$

مثال (4): هل يمكن استخدام غاز  $Cl_2$  في تحضير البروم  $Br_2$  من خاماته؟ إذا علمت أن:

$$E^\circ_{Br_2} = +1.07V, E^\circ_{Cl_2} = +1.36V$$





مثال (6):

ادرس الجدول المجاور، ثم أجب عن

الأسئلة التي تليه:

$E^\circ$ الاختزال	$\frac{1}{2}$ تفاعل الاختزال
-1.18V	$Mn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Mn$
-0.23V	$Ni^{+2} + 2e^- \longrightarrow Ni$
-0.13V	$Pb^{+2} + 2e^- \longrightarrow Pb$
+0.85V	$Hg^{+2} + 2e^- \longrightarrow Hg$
-0.44V	$Fe^{+2} + 2e^- \longrightarrow Fe$

1 ما هي العناصر التي يستطيع  $Ni^{+2}$  أكسدتها؟

2 ما هي الأيونات التي لا يستطيع Fe اختزالها؟

3 ما هي الأيونات التي يختزلها Fe ولا يختزلها Pb؟

4 ما هي العناصر التي يؤكسدها  $Ni^{+2}$  لا يؤكسدها  $Mn^{+2}$ ؟

5 ما هي المادة التي تؤكسد Ni ولا تؤكسد Hg؟

6 ما هي المادة التي تختزل  $Hg^{+2}$  ولا تختزل  $Ni^{+2}$ ؟

7 ما هي المادة التي تكون خلية غلفانية وتجعل Mn مهبط؟

8 ما هو الفلز الي يستخرج بقية الفلزات من خاماتها؟

9 هل يمكن استخدام Pb للحصول على الحديد (Fe) من المحلول  $FeSO_4$ ؟

مثال (7):

اعتمادا على الجدول الآتي يبين جهود الاختزال المعيارية لعدد من أنصاف التفاعلات الافتراضية ادرسه جيدا ثم اجب عما يلي:

$E^\circ$ الاختزال	$\frac{1}{2}$ تفاعل الاختزال
-2.37V	$Z^{+2} + 2e^- \longrightarrow X$
+1.06V	$Y_2 + 2e^- \longrightarrow 2Y^-$
-0.40V	$Z^{+2} + 2e^- \longrightarrow Z$
?	$M^+ + e^- \longrightarrow M$

1 رتب كل من (Z, Y<sup>-</sup>, X) حسب قوتها.

2 اذا تم بناء خلية غلفانية من القطبين (Z, M) وكانت ( $E^\circ$ ) للخلية تساوي (+1,20) فولت وكان العنصر- (M) أقوى كعامل مؤكسد من العنصر- (Z)، اجب عما يلي:

أ) ما قيمة جهد الاختزال ( $E^\circ$ ) للعنصر (M)؟

ج) أي القطبين يمثل المهبط؟ وما إشارته؟

د) أي الأيونات ( $M^+$ ) أم ( $Z^{2+}$ ) يزداد تركيزها؟

3 هل يمكن حفظ ( $Y_2$ ) في وعاء من العنصر (X)؟

4 ما قيمة ( $E^\circ$ ) للخلية المكونة من القطبين (Z, M)؟





### مثال (9):

ادرس الجدول الآتي ثم أجب عما يليه:

رقم الخلية	قطبا الخلية	انحراف قراءة V	E° الخلية (فولت)
1	A/R	باتجاه A	0.93
2	A/G	باتجاه A	0.19
3	A/C	باتجاه C	1.05
4	A/M	باتجاه M	0.59
5	A/D	باتجاه A	0.51

1 رتب العناصر (C/G/D/M/R/A) حسب قوتها كعوامل مختلة.

2 اكتب رمز العامل المؤكسد في خلية رقم (2).

3 اكتب رمز أقوى عامل مؤكسد.

4 إذا علمت أن  $X_2 + 2e^- \rightarrow 2X^-$  فما هي العناصر التي لا يستطيع  $X_2$  ؟

$$E_{X_2}^\circ = +0.75 \text{ V}$$

### مثال (8):

يبين الجدول بيانات الخلية الغلفانية لفلزات افتراضية (C/B/A) بالإضافة إلى قطب الهيدروجين المعياري ( $H_2$ ) والذي قيمة جهد اختزاله (صفر فولت)، ادرسه ثم اجب عن الأسئلة التي تليه:

رقم الخلية	الخلية الغلفانية	جهد الخلية E° فولت	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 أي الفلزات لا يحرر غاز ( $H_2$ ) عند وضعه في محلول (HCl) المخفف؟

3 أي الوعائين (C) أم (B) يمكن حفظ محلول أحد أملاح (A).

4 حدد الفلزين اللذين يكونان خلية غلفانية لها أقل فرق جهد.

5 ما قيمة جهد الخلية رقم (5)؟

6 أي القطبين هو المصعد في الخلية المكونة من قطبي (B, C)؟





### مثال (10):

ادرس الجدول المجاور والذي يتضمن عدداً من الخلايا الجلفانية وأقطابها محدداً العامل المؤكسد في كل خلية:

رقم الخلية	القطب A	القطب B	العامل المؤكسد
1	Ag	Fe	$Ag^+$
2	Cu	Fe	$Cu^{+2}$
3	Ag	Hg	$Hg^{+2}$
4	Mn	Cr	$Cr^{+3}$
5	Fe	Cr	$Fe^{+2}$
6	Cu	Ag	$Ag^+$

- أي المواد الآتية ( $Cu^{+2}/ Ag^+/ Mn^{+2}$ ) أضعف عامل مؤكسد.
- أي المواد الآتية ( $Fe/Hg/Cr$ ) أقوى عامل مختزل.
- اكتب التفاعل الكلي في خلية غلفانية قطبها ( $Mn/ Fe$ )
- حدد رمز قطبين فلزيين يكونان خلية جلفانية لها أكبر فرق جهد.
- إذا كان القطب  $H_2$  يقع تحت القطب  $Fe$  وفوق القطب  $Cu$

أ) أي الأقطاب ( $Hg/ Cr$ ) جهد اختزاله موجب  
ب) أي من الأقطاب ( $Mn/ Ag$ ) يحرر غاز  $H_2$  في خلية أحد أقطابها الهيدروجين.

- اكتب التعبير الرمزي في خلية أقطابها ( $Cu/ Hg$ )

### مثال (11):

يبين الجدول الآتي 4 خلايا جلفانية ومعلومات عن كل خلية ادرس الجدول وأجب عن الآتي:

المعلومات	الأقطاب	رقم الخلية
ينحرف مؤشر الفولتميتر نحو قطب Fe	Fe/Cr	1
تقل كتلة Sn بمرور زمن على تشغيل الخلية	Sn/Ag	2
$Fe + Sn^{+2} \rightarrow Sn + Pb$	Fe/ Sn	3
يقل تركيز أيونات Cr في المحلول	Mn/Cr	4

- رتب الفلزات في الجدول حسب قوتها كعوامل مختزلة.
- حدد أقوى عامل مؤكسد و أضعف عامل مختزل.
- حدد رمز قطبين فلزيين يكونان خلية لها أكبر  $E^{\circ}cell$
- إذا كان قطب  $H_2$  تقع تحت قطب Sn وفوق قطب Ag:

أ) حدد القطب الي يجعل قطب Cr مهبط.  
ب) هو القطب الي يجعل قطب Sn مصعد.

- تم عمل خلي غلفانية قطبها ( $Sn / Cr$ ):

أ) حدد اتجاه حركة  $e^-$   
ب) حركة اتجاه حركة الأيونات السالبة في مادة القنطرة الملحية.  
ج) اكتب التعبير الرمزي للخلية الجلفانية.  
د) احسب  $E^{\circ}cell$









### مثال (13):

لديك الفلزات الافتراضية (A, B, C, D) وأيوناتها الثنائية موجبة (+2)، وتم الحصول على النتائج والمعلومات الآتية:

- ◀ عند وضع قطعة من D في محلول يحتوي أيونات  $B^{+2}$  ترسبت ذرات B
- ◀ لا يمكن تحريك أحد أملاح C بملعقة من (B)
- ◀ عند وضع سلك من C في محلول HCl المخفف يتصاعد غاز  $H_2$
- ◀ لا يستطيع سلك من A التفاعل مع محلول HCl المخفف

اعتماداً على المعلومات الواردة، أجب عما يلي:

- 1 حدد أقوى عامل مختزل.
- 2 حدد مز فلزين لعمل خلية غلفانية لها أكبر  $E^{\circ}_{cell}$
- 3 هل يمكن حفظ أحد أملاح B في وعاء من E.
- 4 هل يستطيع أيون  $(H^+)$  أكسدة A.
- 5 ماهي رمز المادة التي تؤكسد D ولا تؤكسد C.
- 6 رتب أيونات الفلزات حسب قوتها كعوامل مؤكسدة.

### مثال (12):

ادرس الجدول الآتي ثم أجب عما يليه:

معادلة التفاعل	$E^{\circ}$ الخلية (فولت)
$Mn + Ni^{+2} \longrightarrow Mn^{+2} + Ni$	0.93
$Cr + Mn^{+2} \longrightarrow Cr^{+3} + Mn$	-0.44
$Cr + Ni^{+2} \longrightarrow Cr^{+3} + Ni$	0.49
$Ni^{+2} + Ag \longrightarrow Ni + Ag^{+1}$	-1.05

- 1 حدد أقوى عامل مختزل وأقوى عامل مؤكسد.
- 2 اكتب رمز عنصران يكونان خلية غلفانية لها أكبر جهد خلية.
- 3 ما هي المواد التي يختزلها Cr ولا يختزلها Ag
- 4 هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح العنصر Ag في صفيحة للعنصر Mn
- 5 إذا العنصر  $H_2$  يختزل  $(Ag^{+1})$  ولا يختزل  $(Ni^{+2})$  فأأي العناصر جهد اختزاله موجب.





مثال (14):

لديك الفلزات الآتية (A, B, C, D, E) وجميعها أيونات (+2)، إذا علمت أن:

- أيونات ( $D^{+2}$ ) أقوى عامل مؤكسد من أيونات  $E^{+2}$ .
- في الخلية الغلفانية المكونة من (E, B) تزداد كتلة القطب E.
- أيونات ( $A^{+2}$ ) تؤكسد ذرات باقي العناصر.
- في الخلية الغلفانية المكونة من (D, A) يزداد تركيز  $A^{+2}$  في المحلول.
- العامل المختزل B أضعف من العامل المختزل C.

بناءً على المعلومات الواردة، أجب عما يلي:

- 1 رتب الفلزات حسب قوتها كعوامل مختزلة.
- 2 حد المواد التي لا يستطيع أيون  $D^{+2}$  أكسدها.
- 3 حدد المواد التي يختزلها B ولا يختزلها A.
- 4 حدد رمز الفلزين الذين يكونان خلية غلفانية لها أكبر  $E^\circ$  خلية.
- 5 أي الفلزات يمكن أن يصنع منها أوعية لحفظ محاليل أحد أملاح D.
- 6 أي الفلزات يمكن أن يصنع منها ملعقة لتحريك محلول أحد أملاح C.
- 7 هل يمكن حفظ أملاح E في وعاء مصنوع من الفلز D.

مثال (15):

ادرس التفاعلات التالية:

معدلة التفاعل	$E^\circ$ الخلية (فولت)
$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1.33
$Sn^{+2} + 2e^- \longrightarrow Sn$	-0.14
$Ni^{+2} + 2e^- \longrightarrow Ni$	-0.23
$Ag^{+1} + 1e^- \longrightarrow Ag$	+0.80

- 1 حدد أقوى عامل مختزل وأقوى عامل مؤكسد.
- 2 اكتب رمز عنصران يكونان خلية غلفانية لها أكبر جهد خلية.
- 3 ما هي المواد التي يختزلها Cr ولا يختزلها Ag.
- 4 هل يمكن حفظ محلول أحد أملاح العنصر Ag في صفيحة للعنصر Mn.
- 5 إذا العنصر  $H_2$  يختزل ( $Ag^{+1}$ ) ولا يختزل ( $Ni^{+2}$ ) فأأي العناصر جهد اختزاله موجب.





## خلايا التحليل الكهربائي

### الدرس الثالث

يوجد تفاعلات تأكسد واختزال **لا تحدث بشكل تلقائي**، وحدثت هذه التفاعلات يلزم طاقة كهربائية من مصدر خارجي، وهذه التفاعلات التي لا تحدث بشكل تلقائي تحدث في خلية كهروكيميائية وهي **(خلية التحليل الكهربائي)**

تصنف المواد حسب قدرة محاليلها على إيصال التيار الكهربائي إلى قسمين هما:

- 1 **المواد الكهربية:** هي المواد التي يوصل محلولها المائي أو مصهورها التيار الكهربائي، ومن الأمثلة عليها (المركبات الأيونية)، مثل ملح الطعام.
- 2 **المواد الكهربية:** هي المواد التي لا يوصل محلولها المائي أو مصهورها التيار الكهربائي، ومن الأمثلة عليها (المركبات الجزيئية)، مثل السكر.

### مقدمة في التحليل الكهربائي

- تسمى العملية التي تستخدم فيها الكهرباء لحدوث التفاعلات الكيميائية بـ **(التحليل الكهربائي)**
- تسمى العملية التي تتحول فيها الطاقة من كهربائية إلى كيميائية بـ **(التحليل الكهربائي)**

### مفهوم عملية التحليل الكهربائي

هي إمرار تيار كهربائي في **مصهور أو محلول** مادة كهربية مما يؤدي لحدوث تفاعل تأكسد واختزال

### خلايا التحليل الكهربائي

مفهومها: هي خلية كهروكيميائية يحدث فيها تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي بفعل الطاقة الكهربائية.

### صفات خلية التحليل الكهربائي

- 1 يحدث فيها تفاعل تأكسد واختزال تلقائي
- 2 تحتاج التفاعلات التي تتم فيها إلى طاقة كهربائية (مصدر خارجي)
- 3 تتحول الطاقة فيها من (كهربائية ← كيميائية)

### التحليل الكهربائي لمصهور مادة كهربية

- مكونات خلية التحليل الكهربائي

- 1 وعاء يحتوي على (مصهور أو محلول) مادة أيونية (كهربية)
- 2 بطارية (مصدر كهربائي خارجي)
- 3 أسلاك توصيل.
- 4 أقطاب خاملة من (الجرافيت أو البلاتين) وهي:

**المهبط:** يوصل بقطب البطارية **السالب**، وشحنته **سالبة** وتحدث عملية الاختزال للأيونات الموجبة

**المصعد:** يوصل بقطب البطارية **الموجب**، وشحنته **موجبة** وتحدث عملية التأكسد للأيونات السالبة





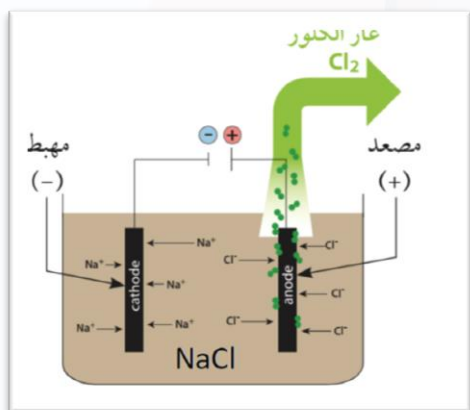


### آلية حدوث عملية التحليل الكهربائي:

- 1 تتفكك المادة الكهربية (مصهور أو محلول) إلى أيونات (+ ، -)
- 2 إمرار تيار كهربائي في مصهور أو محلول المادة الأيونية تتحرك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفة لها بالشحنة.
- 3 تتحرك الأيونات باتجاه الأقطاب المخالفة لها بالشحنة، (حيث تتحرك الأيونات الموجبة باتجاه القطب السالب (المهبط) و تختزل، وتتحرك الأيونات السالبة باتجاه القطب الموجب (المصعد) وتتأكسد.
- 4 يحدث تفاعل تأكسد واختزال غير تلقائي.

**ملاحظة مهمة:** لأن التفاعل الذي يحدث في خلية التحليل الكهربائي، يجب أن يكون جهد البطارية المستخدم لحدوث التفاعل أكبر من جهد الخلية.

### التحليل الكهربائي لمصهور NaCl:



- 1 إغلاق الدارة الكهربائية.
- 2 مرور تيار كهربائي عبر الأسلاك في مصهور NaCl
- 3 تتحرك أيونات  $Na^+$  باتجاه المهبط ويحدث لها اختزال وتكون ذرات الصوديوم حسب المعادلة الآتية:



- 4 تتحرك أيونات  $Cl^-$  باتجاه المصعد ويحدث لها تأكسد مكونة غاز الكلور كما في المعادلة الآتية:



ولإيجاد التفاعل الكلي في الخلية بعد مساواة عدد الإلكترونات المفقودة و المكتسبة:



ولحساب جهد الخلية المعياري، حيث أن جهود اختزال الأقطاب ( $Na$ ,  $Cl_2$ ) هو:

$$E^\circ_{Na} = -2.71V / E^\circ_{Cl_2} = +1.36V$$

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{(Na)} - E^\circ_{(Cl_2)} = -2.71 - 1.36 = -4.07V$$

### أهم الملاحظات على تحليل مصهور NaCl:

- 1 يحدث التفاعل بسبب تزويد الخلية بفرق جهد كهربائي من البطارية أكبر من جهد الخلية المعياري.
- 2 تستخدم عملية تحليل مصهور NaCl كهربائياً لاستخلاص الصوديوم صناعياً.

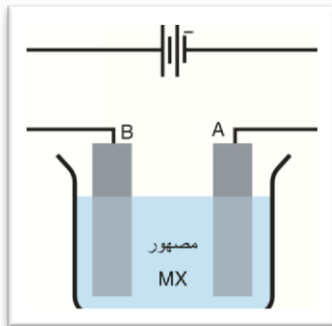
**ملاحظة مهمة:** تستخلص معظم الفلزات النشطة كالليثيوم والبوتاسيوم والصوديوم من مصاهير كلوريداتها بتحليلها كهربائياً





في خلية تحليل كهربائي لمصهور MX  
أجب عن الآتي:

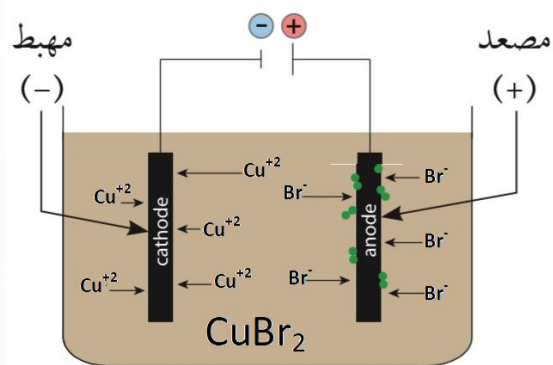
سؤال (2):



- 1 أحدد المصعد والمهبط في الخلية.
- 2 أحدد اتجاه حركة الأيونات الموجبة والسالبة داخل المحلول باستخدام الأسهم.
- 3 أحدد القطب الذي تحدث عنده عملية التأكسد.
- 4 أحدد القطب الذي تحدث عنده عملية الاختزال.
- 5 توقع جهد البطارية اللازمة لإحداث تفاعل التحليل لكهربائي للمصهور

في خلية تحليل كهربائي لمصهور  $\text{CuBr}_2$   
أجب عن الآتي:

سؤال (1):



- 1 ما هي الأيونات الناتجة من تسخين  $\text{CuBr}_2$  بالحرارة؟
- 2 حدد اتجاه الأيونات الناتجة في المصهور؟
- 3 اكتب نصف تفاعل التأكسد ومصف تفاعل الاختزال؟
- 4 ما هي نواتج التحليل الكهربائي للمصهور؟
- 5 توقع جهد البطارية اللازم لإحداث تفاعل التحليل الكهربائي للمصهور

$$E^\circ_{\text{Cu}} = +0.34\text{V} , E^\circ_{\text{Br}_2} = 1.07\text{V}$$

في خلية تحليل كهربائي لمصهور  $\text{AlI}_3$   
أجب عن الآتي:

سؤال (3):



$$E^\circ_{\text{Al}} = -1.66\text{V} , E^\circ_{\text{I}_2} = +1.07\text{V}$$

- 1 ما هي الأيونات التي تتجه لكل من القطب السالب والموجب.
- 2 اكتب أنصاف تفاعل التأكسد والاختزال.
- 3 ما هي نواتج عملية التحليل الكهربائي للمصهور.
- 4 أوجد جهد خلية التحليل الكهربائي؟
- 5 توقع جهد البطارية اللازمة لإحداث تفاعل التحليل لكهربائي للمصهور







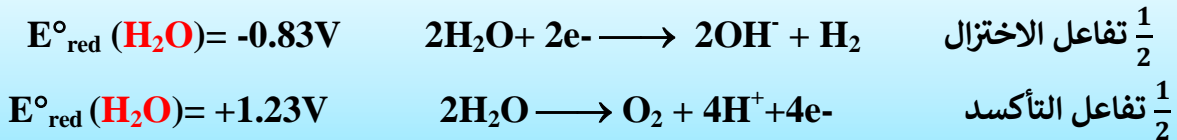
## التحليل الكهربائي لمحلول مادة كهربية:

- 1. **مصهور مادة أيونية** (مادة كهربية) يحتوي فقط على الأيونات الموجبة و السالبة فقط الناتجة من تسخين المادة الكهربية بالحرارة.
- 2. **محلول المادة الأيونية** (الكهربية) فإن الماء يقوم بتفكيك المادة إلى أيوناتها الموجبة والسالبة ويصبح المحلول يحتوي على:
  1. أيونات موجبة وسالبة ناتجة عن تفكك المادة الأيونية.
  2. جزيئات الماء.
- 3. في عملية التحليل الكهربائي لمصهور المادة الأيونية يحدث اختزال للأيونات الموجبة وتأكسد للأيونات السالبة أما في **عملية التحليل الكهربائي لمحلول المادة الأيونية** فإن هذه العملية تعد أكثر تعقيداً وذلك لأن:
  1. إن التأكسد يحدث للأيونات السالبة في المحلول أو جزيئات الماء.
  2. إن الاختزال يحدث للأيونات الموجبة في المحلول أو جزيئات الماء.

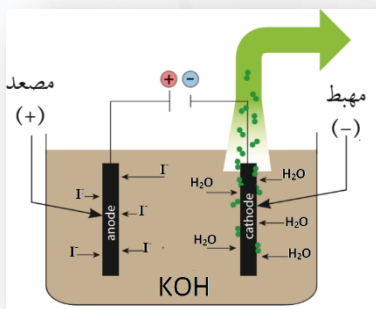
**مهم جداً:**

فإن نواتج التحليل الكهربائي لمحلول مادة أيونية يختلف عن نواتج التحليل الكهربائي لمصهور مادة أيونية.

**ملاحظة مهمة جداً:**



## التحليل الكهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم KI:



1. إغلاق الدارة الكهربائية.
2. مرور تيار كهربائي عبر الأسلاك في محلول KI
3. يحتمل أن يحدث اختزال الأيونات  $\text{K}^+$  أو جزيئات الماء عند **المهبط**، ولتحديد لمن يحدث الاختزال لـ  $(\text{K}^+)$  أو  $(\text{H}_2\text{O})$  ننظر إلى جهود الاختزال لكل منهما:

$$E^{\circ}_{\text{K}} = -2.89\text{V}$$

$$E^{\circ}_{\text{H}_2\text{O}} = -0.83\text{V}$$

حيث الذي يحدث له اختزال هو الأعلى جهد اختزال وبالتالي الماء يختزل لأنه أعلى جهد اختزال حسب المعادلة الآتية:



4. يحتمل حدوث تأكسد لأيونات  $(\text{I}^-)$  أو **جزيئات الماء** عند المصعد، ولتحديد لمن يحدث التأكسد لـ  $(\text{I}^-)$  أو  $(\text{H}_2\text{O})$  ننظر إلى جهود الاختزال لكل من  $(\text{H}_2\text{O}, \text{I}^-)$

$$E^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = +1.23\text{V} \quad E^{\circ}(\text{I}_2) = +0.54\text{V}$$

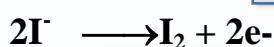




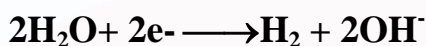


ولتحديد الذي يتأكسد، ننظر إلى جهد اختزال كل **قطب الأقل جهد اختزال** هو الذي **يتأكسد**، وبالتالي فإن جهد اختزال اليود أقل من جهد اختزال الماء وبالتالي فإن اليود أسهل تأكسداً من الماء. ولذلك تتأكسد أيونات  $I^-$   **$(2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-)$**  و ينتج  $I_2$  عند المصعد.

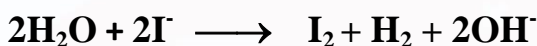
**نتائج التحليل الكهربائي لمحلول  $CuBr_2$ :**



1 يتأكسد  $I^-$  في  $\frac{1}{2}$  تفاعل التأكسد



تختزل  $H_2O$  في  $\frac{1}{2}$  تفاعل الاختزال



التفاعل الكلي للتأكسد والاختزال

**ملاحظة مهمة:**



(أ) إن النتائج العملية لتجربة التحليل الكهربائي لمحلول  $KI$  مطابقة للنتائج التي تم دراستها حيث تم ملاحظة:

1 تكون  $I_2$  عند المصعد (القطب الموجب) بعد تأكسد أيونات  $I^-$ .

2 تصاعد غاز  $H_2$  عند المهبط (القطب السالب) بعد اختزالها  $H_2O$ .

3 اتحاد أيونات  $K^+$  مع  $OH^-$  لتتكون محلول هيدروكسيد البوتاسيوم ( $KOH$ )

(ب) بحساب جهد الخلية المعياري:  $(E^{\circ}_{red(I_2)} = +0.54V, E^{\circ}_{red(H_2O)} = -0.83V)$

$$E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{red(H_2O)} - E^{\circ}_{red(I_2)} = -0.83 - 0.56 = -1.37V$$

جهد البطارية اللازم لإحداث التفاعل متوقع أنه **أكبر من (1.3V)**

**ملاحظة مهمة:**



1 الماء ( $H_2O$ ) يختزل نصف تفاعل الاختزال  $(2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-)$

2 قيمة جهد اختزال  $H_2O$   $E^{\circ}_{(H_2O)} = -0.83V$

3 أي عنصر- جهد اختزاله أكبر من جهد اختزال  $H_2O$  (يقع تحت  $H_2O$  في جدول جهود الاختزال) يمكن تحضيره من خلال عملية التحليل الكهربائي لمحاليل أملاحها، وذلك لأنها تختزل عند المهبط وتعطي ذرات العنصر.

4 أي عنصر- جهد اختزاله أقل من جهد اختزال  $H_2O$  (يقع فوق  $H_2O$  في جدول جهود الاختزال) لا يمكن تحضيره من خلال عملية التحليل الكهربائي لمحاليل أملاحها، وذلك لأنها لا تختزل.





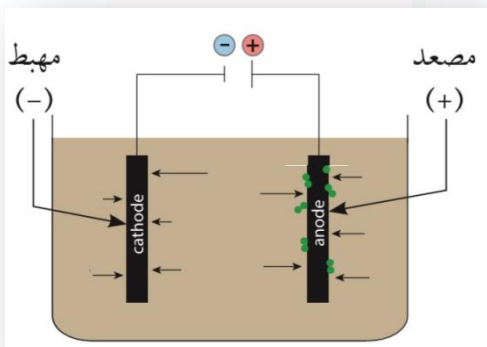
سؤال: انظر الجدول المجاور ثم أجب عما يلي:



- 1 حدد العناصر التي يمكن تحضيرها من خلال عملية التحليل الكهربائي لمحاليل أملاحها؟
- 2 حدد العناصر التي لا يمكن تحضيرها من خلال عملية التحليل الكهربائي لمحاليل أملاحها؟

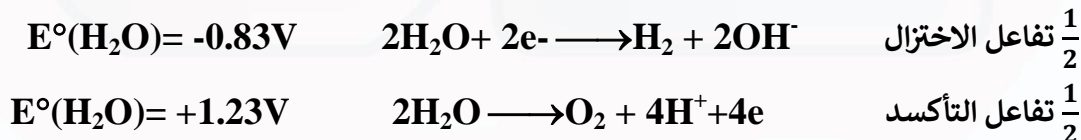
تفاعل الاختزال $\frac{1}{2}$	جهد الاختزال
$\text{Na}^+ + 1\text{e}^- \longrightarrow \text{Na}$	-2.71V
$\text{Mg}^{+2} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Mg}$	-2.37V
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$	-0.83V
$\text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$	+0.34V
$\text{Ag}^+ + 1\text{e}^- \longrightarrow \text{Ag}$	+0.80V

سؤال: في خلية تحليل كهربائي لمحلول يوديد البوتاسيوم (NaI) ادرس الشكل الآتي وأجب عن الأسئلة الآتية:



- 1 اكتب معادلة تفكك NaI في الماء.
- 2 حدد رمز القطب الذي يمثل المصعد ( ) والمهبط ( )
- 3 حدد اتجاه حركة الأيونات الناتجة.
- 4 اكتب نصف تفاعل التأكسد ونصف تفاعل الاختزال.
- 5 اكتب التفاعل الكلي للخلية.
- 6 إذا علمت أن أوجد جهد الخلية.
- 7 حدد مقدار الجهد اللازم من البطارية لحدوث تفاعل التأكسد والاختزال.
- 8 ما هي المواد الناتجة من عملية التحليل الكهربائي لمحلول NaI.

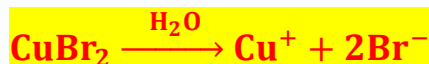
استخدم المعلومات الآتية:





## التحليل الكهربائي لمحلول بروميد النحاس $\text{CuBr}_2$ :

تتفكك بروميد النحاس  $\text{CuBr}_2$  في الماء حسب المعادلة الآتية:

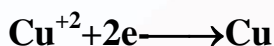


### آلية العمل في خلية التحليل الكهربائي لمحلول $\text{CuBr}_2$

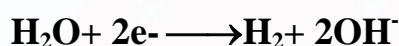
1 إغلاق الدارة الكهربائية.

2 مرور تيار كهربائي عبر الأسلاك في محلول  $\text{CuBr}_2$

3 يحتمل أن يحدث اختزال الأيونات  $\text{Cu}^{+2}$  أو جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  عند المهبط، وبالرجوع إلى جهد اختزال كل منهما:



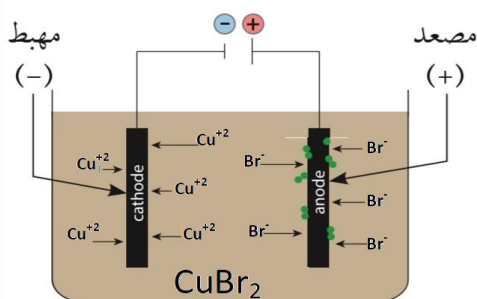
$$E^{\circ}(\text{Cu}) = 0.34\text{V}$$



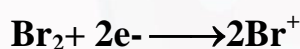
$$E^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = -0.83\text{V}$$

يلاحظ أن جهد اختزال  $\text{Cu}$  أكبر من جهد اختزال  $\text{H}_2\text{O}$ ، وبالتالي فإن أيونات  $\text{Cu}^{+2}$  أسهل اختزالاً عند المهبط مما يؤدي لتكوين ذرات النحاس على قطب المهبط (القطب السالب).

4 يحتمل أن يحدث تأكسد لأيونات البروميد ( $\text{Br}^{-}$ ) أو جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  عند المصعد وبالرجوع إلى جهد اختزال كل منهما:



لتحديد على من تم حدوث تفاعل التأكسد، يتم جهد تأكسد كل من  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{Br}^{-}$  للتفاعلات العكسية:



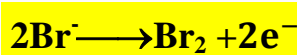
$$E^{\circ}(\text{Br}_2) = +1.07\text{V}$$



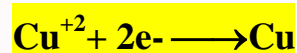
$$E^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = +1.23\text{V}$$

نلاحظ أن جهد تأكسد  $\text{Br}^{-}$  أكبر من جهد تأكسد  $\text{H}_2\text{O}$  وبالتالي فإن أيونات  $\text{Br}^{-}$  أسهل تأكسداً عند المصعد حيث يؤدي ذلك لتكون البروم ( $\text{Br}_2$ ) عند المصعد.

### نتائج التحليل الكهربائي لمحلول $\text{CuBr}_2$ :



1 تتأكسد أيونات  $\text{Br}^{-}$  في  $\frac{1}{2}$  تفاعل التأكسد



تختزل أيونات  $\text{Cu}^{+2}$  في  $\frac{1}{2}$  تفاعل الاختزال



التفاعل الكلي للتأكسد والاختزال

2 وبحساب جهد الخلية المعياري:  $(E^{\circ}(\text{Cu}) = +0.34\text{V}, E^{\circ}(\text{Br}_2) = +1.07\text{V})$

$$E^{\circ}_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cell}(\text{Cu})} - E^{\circ}_{\text{cell}(\text{Br}_2)}$$

$$+0.34 - 1.07 = -0.73\text{V}$$

3 جهد البطارية اللازم لإحداث التفاعل متوقع أنه أكبر من (0.73V)





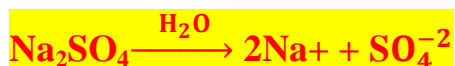
ملاحظة مهمة:

إن النتائج العملية لتجربة التحليل الكهربائي لمحلول  $\text{CuBr}_2$  متطابقة للنتائج التي تم دراستها حيث تم ملاحظة:

- 1 تكون  $\text{Br}_2$  عند المصعد (القطب الموجب) بعد تأكسد أيونات  $\text{Br}^-$ .
- 2 تكون  $\text{Cu}$  عند المهبط (القطب السالب) بعد اختزال أيونات  $\text{Cu}^+$ .

التحليل الكهربائي لمحلول  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

تتفكك كبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  في الماء حسب المعادلة الآتية:



آلية العمل في خلية التحليل الكهربائي لمحلول  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

- 1 إغلاق الدارة الكهربائية.
- 2 مرور تيار كهربائي عبر الأسلاك في محلول  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .
- 3 يحتمل أن يحدث اختزال الأيونات  $\text{Na}^+$  أو جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  عند المهبط، وبالرجوع إلى جهد اختزال كل منهما:
 
$$\text{Na}^+ + 1e^- \longrightarrow \text{Na} \quad E^\circ(\text{Na}) = -2.71\text{V}$$

$$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^- \quad E^\circ(\text{H}_2\text{O}) = -0.83\text{V}$$

حيث يلاحظ أن جهد اختزال  $\text{H}_2\text{O}$  أكبر من جهد اختزال  $\text{Na}$ ، لذلك إن جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  أسهل اختزالاً عند المهبط من أيونات  $\text{Na}^+$ ، مما يؤدي لتكون غاز الهيدروجين ( $\text{H}_2$ ) وأيونات هيدروكسيد ( $\text{OH}^-$ ) عند قطب المهبط (القطب السالب).

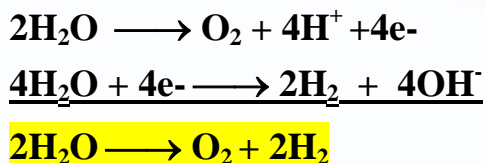
- 4 يحتمل أن يحدث تأكسد لأيونات  $\text{SO}_4^{2-}$  أو جزيئات  $\text{H}_2\text{O}$  عند المصعد وقد لوحظ عملياً تصاعد غاز الأكسجين ( $\text{O}_2$ ) عند المصعد حسب نصف تفاعل تأكسد  $\text{H}_2\text{O}$ :



مما يدل على تأكسد جزيئات الماء.

نتائج التحليل الكهربائي لمحلول  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

- 1 تتأكسد جزيئات الماء في  $\frac{1}{2}$  تفاعل التأكسد
 
$$2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^-$$
 تختزل جزيئات الماء في  $\frac{1}{2}$  تفاعل الاختزال
 
$$(2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-) \times 2$$



- 2 نلاحظ أن عملية التأكسد حدثت لجزيئات الماء. وأن عملية الاختزال حدثت لجزيئات الماء. ونتيجة لذلك تكون غاز  $\text{H}_2$  و  $\text{O}_2$  حسب التفاعل الكلي
 
$$(2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2)$$







3 نلاحظ أن عملية تحليل محلول كبريتات الصوديوم كهربائياً هو يمثل عملية تحليل الماء كهربائياً.



4 ولحساب جهد الخلية المعياري:  $(E^\circ_{(\text{H}_2\text{O})} = -0.83\text{V}, E^\circ_{(\text{H}_2\text{O})} = +1.23\text{V})$

$$E^\circ_{\text{cell}} = -2.06\text{V}$$

### أهم الملاحظات بعد دراسة عملية التحليل الكهربائي لمحاليل المواد الأيونية:

- الأيونات الموجبة وجزئيات الماء يُحتمل أن يتأكسد عند المصعد.
- الأيونات السالبة وجزئيات الماء يُحتمل أن تختزل عند المهبط.
- لتحديد التفاعل الذي يحدث يتم الاعتماد على جهد اختزال الأقطاب المعياري، حيث أن العنصر الذي يختزل عند المهبط هو الأعلى جهد اختزال معياري، العنصر الذي يتأكسد عند المصعد هو الأعلى جهد تأكسد أو (الأقل جهد اختزال معياري).
- سلوك أيون معين هو نفس السلوك خلال عملية التحليل الكهربائي.
- هناك بعض الأيونات متعددة الذرات مثل  $(\text{NO}_3^-, \text{SO}_4^{2-})$  لا تتأثر عند تحليل محاليلها كهربائياً.

### التطبيقات العملية للتحليل الكهربائي:

✳ لقد درسنا أن خلايا التحليل الكهربائي تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية من خلال استخدام تيار كهربائي يجبر تفاعلي تأكسد واختزال غير تلقائيين على الحدوث.

### تطبيقات خلايا التحليل الكهربائي في الصناعة:

- استخلاص الفلزات النشطة من مصاهير خاماتها.
- تنقية الفلزات لاستخدامها في المجالات التي تحتاج إلى فلزات نقية بدرجة كبيرة.

### استخلاص الألمنيوم:

- يعتبر من الفلزات النشطة، ويعتبر من أكثر الفلزات انتشاراً في الكرة الأرضية.
- يتم استخلاصه من خام البوكسيت  $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  بطريقة (هول هيروليت) حيث يعالج الخام لتخليصه من الشوائب، ثم يسحن لتحويله إلى أكسيد الألمنيوم  $(\text{Al}_2\text{O}_3)$  ثم يذاب في مصهور الكريوليت  $(\text{Na}_3\text{AlF}_6)$  فتتخفف درجة أنصهاره نحو  $1000^\circ\text{C}$ .
- تسمى خلية التحليل الكهربائي المصهور  $\text{Al}_2\text{O}_3$  خلية (هول يروليت) وتتكون:
  - من الداخل من طبقة الجرافيت تمثل المهبط
  - سلسلة من أقطاب الجرافيت تغمس في المصهر.





**آلية عمل التحليل الكهربائي لمصهور  $Al_2O_3$  (خلية هول هيروليت):**

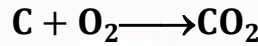
1 يحدث اختزال لأيونات الألمنيوم عند المهبط وتتكون ذرات الألمنيوم الذي يتجمع أسفل الخلية حيث يُسحب من مخرج خاص.



2 عند المصعد يتأكسد أيونات الأكسجين ( $O^{2-}$ ) مكونة غاز الأكسجين.



3 يتفاعل الأكسجين الناتج من أقطاب الجرافيت مكوناً ثاني أكسيد الكربون حسب المعادلة الآتية:



وهذا يؤدي إلى تآكل أقطاب الجرافيت، فيجري تغييرها بشكل دوري

4 نلخص التفاعل الكلي الحادث في الخلية:



**ملاحظات مهمة:**

- 1 إن عملية استخلاص الألمنيوم تستهلك كميات كبيرة وهائلة من الطاقة، ولذلك فإن مصانع إنتاج الألمنيوم تقام قريبة من محطات الطاقة الكهربائية لتوفر تكلفة نقل الطاقة.
- 2 يتم التركيز بشكل كبير على إعادة تدوير الألمنيوم، وذلك لأن كمية الطاقة اللازمة لإعادة التدوير تبلغ نحو 5% من الطاقة اللازمة لاستخلاصه من خام البوكست.

**تنقية الفلزات:**

- ◀ من تطبيقات خلية التحليل الكهربائي تنقية الفلزات، حيث أن هناك بعض استخدامات الفلزات تحتاج لأن تكون نقية تماماً.
- ◀ فمثلاً في التمديدات الكهربائية يجب أن يكون النحاس المستخدم نقياً.

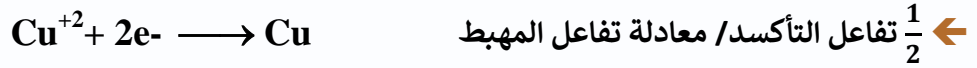
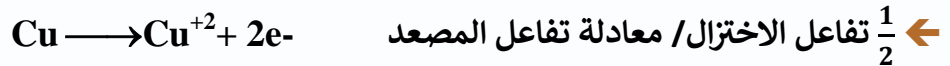
**آلية تنقية النحاس من خلال عملية التحليل الكهربائي:**

- 1 استخلاص النحاس من خاماته، حيث يحتوي على شوائب من (الخرصين والحديد والذهب والفضة والبلاتين)
- 2 لتنقية النحاس يتم بالبداية تشكيل قوالب من النحاس غير النقي تمثل المصعد في خلية التحليل.
- 3 يوصل المهبط بشريحة رقيقة من النحاس النقي.
- 4 ثم يتم غمرهم في محلول كبريات النحاس ( $CuSO_4$ )





5 مع بداية تمرير التيار الكهربائي في الخلية تحدث التفاعلات الآتية:



6 مع استمرار تأكسد النحاس واختزاله:

(1) تنقل ذراته من المصعد إلى المهبط.

(2) تأكسد ذرات الفلزات (الشوائب) التي لها جهد

اختزال أقل من النحاس مثل (Fe, Zn) مكونة

أيونات  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  على الترتيب وتبقى هذه

الأيونات ذائبة في المحلول.

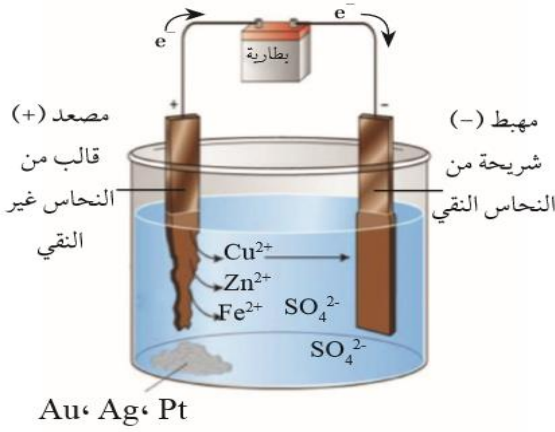
(3) أما الذهب والفضة والبلاتين فإن جهد اختزالها أعلى

من جهد الخلية المستخدم ولذلك لا تتأكسد

ذراتها، وتتجمع في قاع الخلية.

7 يتكون النحاس بشكل نقي، وتكون درجة نقاوة النحاس

نحو 99.9%



تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي



