



السلسلة ⑧

□ □ ■ التمرين ① ①

ينجز التحليل الكهربائي ليودور الزنك ( $Zn^{2+} + 2I^-$ ). يلاحظ عند أحد الإلكترودين توضع رمادي للزنك  $Zn_{(s)}$  و عند الآخر ظهور لون أصفر ناتج عن تكون اليود  $I_{2(aq)}$ .

- 1- أكتب معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود مسميا هذا الأخير.
- 2- استنتج المعادلة الحصيلة للتفاعل.
- 3- يمرر تيار كهربائي شدته  $I = 0,30 A$  خلال المدة  $\Delta t = 2 h$ .
  - 3.1- أحسب كمية مادة اليود الناتج.
  - 3.2- ما هي كتلة الزنك المتوضع؟

◆ معطيات:  $M(Zn) = 65,4 g.mol^{-1} / F = 96 500 C.mol^{-1}$

□ □ ■ التمرين ② ②

على المستوى الصناعي يحضر فلز الكاديوم  $Cd_{(s)}$  بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول مائي لكبريتات الكاديوم ( $Cd_{(aq)}^{2+} + SO_{4(aq)}^{2-}$ ) مع حمض الكبريتيك ( $2H_{(aq)}^+ + SO_{4(aq)}^{2-}$ ).

الكاتود صفيحة من الألمنيوم  $Al_{(s)}$ ، و الأنود صفيحة من الرصاص  $Pb_{(s)}$ .

- 1- أكتب معادلات التفاعلات التي يمكن أن تحدث عند كل إلكترود.
- 2- في الواقع، خلال هذا التحليل الكهربائي، يلاحظ توضع فلزي على الكاتود، بينما يتصاعد غاز عند الأنود.
  - 2.1- حدد نواتج هذا التحليل الكهربائي.
  - 2.2- أكتب المعادلة الحصيلة للتفاعل.
- 3- خلال هذا التحليل تبقى شدة التيار ثابتة و تساوي  $I = 25,0 kA$ .

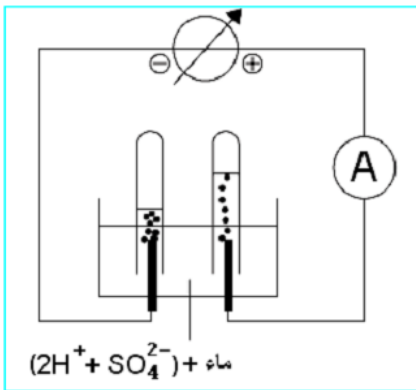
أحسب كتلة الفلز المتوضع بعد المدة  $\Delta t = 12 h$  من التحليل الكهربائي.

◆ معطيات:  $M(Cd) = 112,4 g.mol^{-1} / F = 96 500 C.mol^{-1}$

المزدوجات مختزل/ مؤكسد للأنواع الكيميائية المتواجدة:  $Al_{(aq)}^{3+} / Al_{(s)}$  ؛  $Pb_{(aq)}^{2+} / Pb_{(s)}$  ؛  $Cd_{(aq)}^{2+} / Cd_{(s)}$  ؛

$S_{2O_{8(aq)}^{2-}} / SO_{4(aq)}^{2-}$  ؛  $SO_{4(aq)}^{2-} / SO_{2(g)}$  ؛  $H_{(aq)}^+ / H_{2(g)}$  ؛  $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$

□ □ ■ التمرين ③ ③



في حوض للتحليل الكهربائي ذي إلكترودين من الغرافيت، يسكب 200 ml من الماء ثم 50 ml من حمض الكبريتيك. يغطي كل إلكترود بأنبوب اختبار مملوء بالماء، و تنجز الدارة الممثلة في الشكل التالي. تضبط شدة التيار على القيمة  $I = 0,4 A$ ، و يستغرق التحليل الكهربائي المدة  $\Delta t = 13 min$ .

- 1- أجرد الأنواع الكيميائية المتواجدة في المحلول، ثم أكتب معادلات التفاعلات الممكنة حدوثها.
- 2- حدد منحى تنقل حملة الشحنة محددًا نوعها.
- 3- في الواقع ينطلق غاز الهيدروجين بجوار الكاتود، بينما ينطلق غاز الأكسجين بجوار الأنود. استنتج معادلة التفاعل المتعلقة بالتحويل الحاصل خلال هذا التحليل.
- 4- أحسب حجم كل غاز.

◆ معطيات:  $V_m = 24 l.mol^{-1} / F = 96 500 C.mol^{-1}$

المزدوجات مختزل/ مؤكسد للأنواع الكيميائية المتواجدة:  $SO_{4(aq)}^{2-} / SO_{2(g)}$  ؛  $H_{(aq)}^+ / H_{2(g)}$  ؛  $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$  ؛

$S_{2O_{8(aq)}^{2-}} / SO_{4(aq)}^{2-}$



مع كل حق مسؤولية... فلماذا لا يذكر الناس إلا حقوقهم؟؟

الحديد الأبيض هو فولاذ مغطى بطبقة رقيقة من القصدير، و يستعمل في صناعة علب المصبرات. نريد تحديد كتلة القصدير اللازمة لتغطية صفيحة من الفولاذ بواسطة التحليل الكهربائي.  
♦ معطيات:

- المزدوجتان المتدخلتان في هذا التحليل:  $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$  و  $Sn^{2+}_{(aq)} / Sn_{(s)}$

- الكتلة المولية للقصدير:  $M(Sn) = 118,7 \text{ g mol}^{-1}$

- الفارادي:  $1 \mathcal{F} = 9,65.10^4 \text{ C mol}^{-1}$

نغمر الصفيحة الفولاذية كلياً في محلول كبريتات القصدير  $Sn^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$ ، ثم نجر التحليل الكهربائي لهذا المحلول بين الصفيحة الفولاذية و إلكترود من الغرافيت.

- 1- هل يجب أن تكون الصفيحة الفولاذية هي الأنود أم الكاتود؟ علل جوابك.
- 2- يلاحظ انطلاق غاز ثنائي الأوكسجين على مستوى إلكترود الغرافيت. أكتب معادلة التفاعل.
- 3- يستغرق التحليل الكهربائي مدة 10 min بتيار شدته ثابتة تساوي  $I = 5 \text{ A}$ . أحسب كتلة القصدير التي توضع.

يمكن التحليل الكهربائي من تنقية الفلزات من الشوائب. يستعمل أنود قابل للذوبان، يتكون من فلز غير الخالص الذي يتأكسد ليتحول إلى أيونات في المحلول. و الشوائب المحررة تسقط في قعر المحلل الكهربائي أو تبقى عالقة في المحلول.

في حالة تنقية فلز النحاس يتكون الإلكتروليت من أيونات النحاس  $Cu^{2+}$  و أيونات الكبريتات  $SO_4^{2-}$  و حمض الكبريتيك. و بجوار الكاتود يطرأ على الأيونات  $Cu^{2+}$ ، الموجودة في المحلول، تفاعل اختزال ليتوضع فلز النحاس الخالص على الكاتود.

### الجزء 1

1- أتمم التبيانة التالية، مبينا الأنود، و الكاتود، و محددًا منحى انتقال الإلكترونات، و الكاتيونات، و الأنيونات.

2- التحول الذي يحدث أثناء التحليل الكهربائي، هل هو تفاعل تلقائي أم قسري؟ علل جوابك.

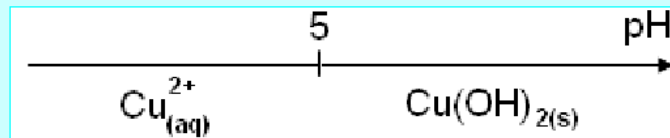
3- أكتب معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود.

4- استنتج المعادلة الحصيلة لهذا التحليل الكهربائي.

5- هل يتغير تركيز الأيونات  $Cu^{2+}$  الموجودة في المحلول الإلكتروليتي؟ علل جوابك.

6- حسب pH المحلول، يتواجد عنصر النحاس على شكلين هما  $Cu^{2+}_{(aq)}$  و

$Cu(OH)_2(s)$ . نعطي فيما يلي مجال هيمنة أيون النحاس:



أشرح، كيفياً، لماذا يضاف حمض الكبريتيك إلى المحلول الإلكتروليتي.

### الجزء 2

نستعمل التركيب المذكور في الجزء 1 لتغليف صفيحة من الفولاذ بطبقة من النحاس. خلال التحليل الكهربائي المدة الزمنية اللازمة هي  $\Delta t = 30,0 \text{ min}$ . شدة التيار ثابتة و تساوي  $I = 400 \text{ mA}$ .

♦ نعطي:  $M(Cu) = 63,5 \text{ g mol}^{-1} / N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1} / e = 1,60.10^{-19} \text{ C}$

1- هل صفيحة الفولاذ تمثل الأنود أم الكاتود؟

2- عبر عن كمية الكهرباء Q بدلالة I و  $\Delta t$ .

3- عبر عن كمية الكهرباء Q بدلالة كمية المادة للإلكترونات المتبادلة خلال التحليل الكهربائي.

4- أعط تعبير  $n(e^-)$ ، كمية المادة للإلكترونات المتبادلة، بدلالة  $n(Cu)$  كمية مادة النحاس المتكون.

5- استنتج التعبير الحرفي لكتلة النحاس المتكون  $m(Cu)$  و أحسب قيمتها.

6- في الواقع، خلال التحليل الكهربائي، تغير كتلة صفيحة النحاس هو  $|\Delta m(Cu)| = 2,41.10^{-1} \text{ g}$ . أعط تفسيراً لذلك.

مع كل حق مسؤولية... فلماذا لا يذكر الناس إلا حقوقهم؟؟

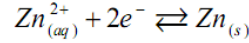


## حلول تمارين السلسلة

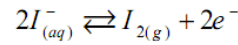


### ⊠ التمرين ①

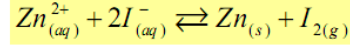
1- معادلة التفاعل الحاصل عند كل الكترود  
• عند الكاتود (الإلكترود السالب) يتوضع الزنك نتيجة اختزال أيونات الزنك حسب المعادلة:



• عند الأنود يتكون اليود نتيجة أكسدة أيونات اليودور حسب المعادلة:



2- المعادلة الحصلة



نجمع نصفي المعادلة:

3.1- كمية مادة اليود الناتج

ننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأكسدة.

كمية المادة بالمول للإلكترونات المتحركة	$2I_{(aq)}^- \rightleftharpoons I_{2(g)} + 2e^-$			معادلة التفاعل
0	$n_i(I^-)$	0	-	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$2x_f$	$n_i(I^-) - 2x_f$	$x_f$	-	كميات المادة بالمول في الحالة النهائية

من الجدول نستنتج:  $x_f = \frac{n(e^-)}{2} \leftarrow n(e^-) = 2x_f$

من جهة أخرى، كمية المادة للإلكترونات المتحركة تحقق العلاقة التالية:  $n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$

و بالتالي، التقدم النهائي هو:  $x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

و حسب الجدول:  $n_f(I_2) = x_f$

نستنتج كمية المادة لليود الناتج:  $n_f(I_2) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

$$n_f(I_2) = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \leftarrow n_f(I_2) = \frac{0,30 \times 2 \times 3600}{2 \times 96500} \text{ ت.ع.}$$

3.2- كتلة الزنك المتوضع

تبين المعادلة الحصلة أن للنتائج نفس المعامل التناسبي، إذن كمية مادة الزنك الناتجة هي:

$$n_f(Zn) = n_f(I_2) = x_f$$

نستنتج كتلة الزنك المتوضع:  $m(Zn) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot M(Zn)$

$$m(Zn) = 0,73 \text{ g} \leftarrow m(Zn) = \frac{0,30 \times 2 \times 3600}{2 \times 96500} \times 65,4 \text{ ت.ع.}$$



### ⊠ التمرين ②

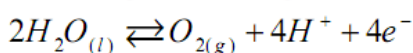
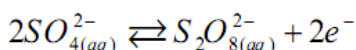
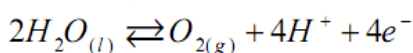
1- معادلات التفاعلات الممكنة حدوثها

• جرد الأنواع الكيميائية:

في المحلول	في الإلكترودين	الذرات
	$Pb_{(s)}$ (الأنود)، $Al_{(s)}$ (الكاتود)	الكاتيونات
$H_{(aq)}^+$ ، $Cd_{(aq)}^{2+}$		الأنيونات
$SO_{4(aq)}^{2-}$		الجزئيات
$H_2O_{(l)}$ (المذيب)		

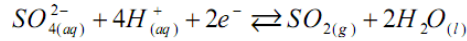
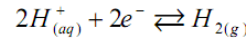
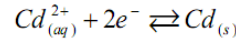
• معادلات التفاعلات عند الأنود:

على مستوى الأنود تحدث أكسدة، و تفاعلات الأكسدة المحتملة هي:



• معادلات التفاعلات عند الكاتود:

على مستوى الكاتود يحدث اختزال، و تفاعلات الاختزال المحتملة هي:



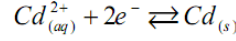
• **تنبيه:** يرجى مراجعة التذكير الخاص بكتابة نصف معادلة أكسدة أو اختزال في الدرس الأول من الجزء الأولى.

2.1- نواتج التحليل الكهربائي

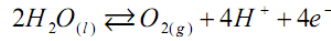
• على الكاتود: التوضع الفلزي هو لفلز الكاديوم،

• على الأنود: الغاز المتصاعد هو غاز الأكسجين.

2.2- المعادلة الحصلة للتفاعل



• معادلة الاختزال الكاثودي:



• معادلة الأكسدة الأنودية:

3- **كتلة الفلز المتوضع**

يتعلق الأمر بفلز الكاديوم. نشئ إذن جدول التقدم لتفاعل الاختزال الكاثودي:

كمية المادة بالمول للإلكترونات المنتقلة	$Cd_{(aq)}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cd_{(s)}$			معادلة التفاعل
0	$n_i(Cd^{2+})$	-	0	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$2x_f$	$n_i(Cd^{2+}) - x_f$	-	$x_f$	كميات المادة بالمول في الحالة النهائية

من الجدول نستنتج:  $n(e^-) = 2x_f \leftarrow x_f = \frac{n(e^-)}{2}$

من جهة أخرى، كمية المادة للإلكترونات المنتقلة تحقق العلاقة التالية:  $n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$

$$x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$$

و بالتالي، التقدم النهائي هو:

$$n_f(Cd) = x_f$$

و حسب الجدول:

$$n_f(Cd) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$$

نستنتج كمية المادة للكاديوم المتوضع:

$$m(Cd) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot M(Cd)$$

و بالتالي كتلته:

$$m(Cd) = 6,29 \cdot 10^5 \text{ g} = 629 \text{ kg}$$

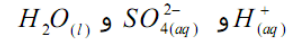
$$\leftarrow m(Cd) = \frac{25,0 \times 10^3 \times 12 \times 3 \text{ 600}}{2 \times 96 \text{ 500}} \times 112,4 \text{ ت.ع.}$$



### ⏏ التمرين ③ ①

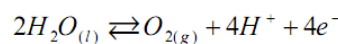
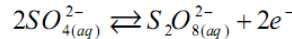
1- **• جرد الأنواع الكيميائية:**

إكترودا الغرافيت لا يتدخلان في هذا التحليل، نكتفي بجرد الأنواع الكيميائية المتواجدة في المحلول. وهي:

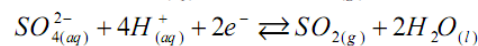
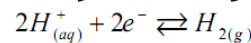


• **التفاعلات المحتملة:**

- على مستوى الأنود تحدث أكسدة، و تفاعلات الأكسدة المحتملة هي:



- على مستوى الكاتود يحدث اختزال، و تفاعلات الاختزال المحتملة هي:



2- **• منحنى تنقل حملة الشحنة**

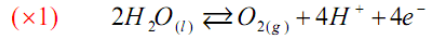
• في الدارة الكهربائية: تنتقل الإلكترونات من القطب السالب للمولد إلى الكاتود، و من الأنود إلى قطبه الموجب.

• في المحلول الإلكتروليتي: تنتقل الأيونات  $H_{(aq)}^+$  من الأنود إلى الكاتود، في منحنى التيار. بينما تتحرك الأيونات

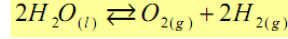
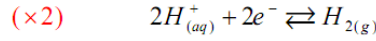
$SO_{4(aq)}^{2-}$  من الكاتود إلى الأنود، في منحنى تنقل الإلكترونات.

### 3- معادلة التفاعل

• على مستوى الأنود ينطلق غاز الأكسجين نتيجة أكسدة جزيئات الماء حسب المعادلة:



• على مستوى الكاتود ينطلق غاز الهيدروجين نتيجة اختزال الأيونات  $H^+_{(aq)}$  حسب المعادلة:



نستنتج المعادلة الحصيلة:

### 4- حجم الغازين

ننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأكسدة مثلا.

كمية المادة بالمول للإلكترونات المتحركة	$2H_2O_{(l)} \rightleftharpoons O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^-$				معادلة التفاعل
0	وافرة	0	وافرة	-	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$4x_f$	وافرة	$x_f$	وافرة	-	كميات المادة بالمول في الحالة النهائية

$$n(e^-) = 4x_f$$

من الجدول نستنتج كمية المادة للإلكترونات المتحركة:

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$$

من جهة أخرى، كمية المادة للإلكترونات المتحركة تحقق العلاقة التالية:

$$x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{4F}$$

و بالتالي، التقدم النهائي هو:

### • حجم غاز الأكسجين:

$$n_f(O_2) = x_f$$

حسب الجدول كمية المادة لغاز الأكسجين الناتج هي:

$$V(O_2) = \frac{I \cdot \Delta t}{4F} \cdot V_m$$

$$\leftarrow V(O_2) = x_f \cdot V_m$$

نستنتج حجمه:

$$V(O_2) = 1,94 \cdot 10^{-2} l = 19,4 ml$$

$$\leftarrow V(O_2) = \frac{0,4 \times 13 \times 60}{4 \times 96500} \times 24$$

ت.ع.

### • حجم غاز الهيدروجين:

من خلال المعادلة الحصيلة، يتبين أن حجم غاز الهيدروجين يساوي ضعف حجم غاز الأكسجين. و بالتالي:

$$V(H_2) = 38,8 ml$$

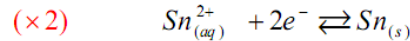
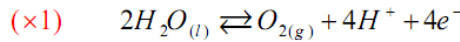
### ⊠ التمرين ④

#### 1- كاتود أم أنود؟

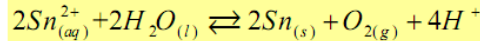
يتوضع فلز القصدير حسب تفاعل اختزال، معادلته:  $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Sn_{(s)}$  و الاختزال يقع بجوار الكاتود. نستنتج أنه يجب أن تكون صفيحة الفولاذ كاتودا.

#### 2- معادلة التفاعل

• على مستوى الأنود ينطلق غاز الأكسجين نتيجة أكسدة جزيئات الماء حسب المعادلة:



• على مستوى الكاتود:



نستنتج المعادلة الحصيلة:

#### 3- كتلة القصدير المتوضع

ننشئ جدول التقدم لتفاعل الاختزال الكاتودي:

كمية المادة بالمول للإلكترونات المتحركة	$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Sn_{(s)}$			معادلة التفاعل
0	$n_i(Sn^{2+})$	-	0	كميات المادة بالمول في الحالة البدئية
$2x_f$	$n_i(Sn^{2+}) - x_f$	-	$x_f$	كميات المادة بالمول في الحالة النهائية

$$x_f = \frac{n(e^-)}{2}$$

$$\leftarrow n(e^-) = 2x_f$$

من الجدول نستنتج تقدم التفاعل:

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$$

كمية المادة للإلكترونات المتحركة تحقق أيضا العلاقة التالية:

و بالتالي، التقدم النهائي هو:

$$x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$$

$$n_f(Sn) = x_f$$

و حسب الجدول كمية المادة للقصدير المتوضع هي:

$$n_f(Sn) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$$

نستنتج:

$$m(Sn) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot M(Sn)$$

و بالتالي كتلته:

$$m(Cd) = 1,845 \text{ g}$$

←

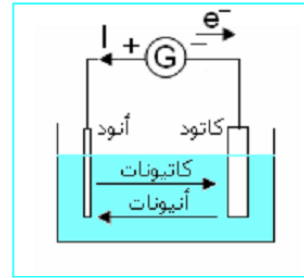
$$m(Cd) = \frac{5 \times 10 \times 60}{2 \times 96500} \times 118,7$$

ت.ع.



## ⏏ التمرين 5 ①

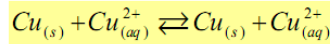
الجزء 1  
-1



-2 التحليل الكهربائي عبارة عن تفاعل أكسدة- اختزال قسري لأنه يحتاج إلى طاقة على شكل طاقة كهربائية.

-3 • عند الأنود: أكسدة فلز النحاس حسب المعادلة  $Cu_{(s)} \rightleftharpoons Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^-$

• عند الكاثود: اختزال أيونات النحاس حسب المعادلة  $Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$



-4 المعادلة الحصيلة للتفاعل هي:

-5 عندما يتم اختزال أيون  $Cu_{(aq)}^{2+}$  عند الكاثود، يتكون أيون  $Cu_{(aq)}^{2+}$  بالأكسدة عند الأنود، و بالتالي تركيز أيونات النحاس يبقى ثابتا في المحلول الإلكتروليتي.

-6 عند  $pH > 5$  يتكون الراسب  $Cu(OH)_2$ ، لذلك ينبغي أن يكون الوسط أصغر من 5: و هذا هو دور حمض الكبريتيك.

## الجزء 2

-1 على صفيحة الفولاذ يجب أن يتوضع فلز النحاس باختزال أيونات النحاس، إذن صفيحة الفولاذ تلعب دور الكاثود.

$$Q = I \cdot \Delta t$$

-2 كمية الكهرباء هي:

$$Q = n(e^-) \cdot N_A \cdot e$$

-3 تعبير كمية الكهرباء هو:

$$n(Cu) = \frac{n(e^-)}{2}$$

-4 باعتبار معادلة الاختزال  $Cu_{(aq)}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$  لدينا العلاقة:

$$n(Cu) = \frac{I \cdot \Delta t}{2N_A \cdot e}$$

-5 كمية مادة النحاس المتوضع هي:

$$m(Cu) = \frac{I \cdot \Delta t}{2N_A \cdot e} \cdot M(Cu)$$

و بالتالي كتلته هي:

$$m(Cu) = \frac{0,4 \times 30 \times 60}{2 \times 6,02 \cdot 10^{23} \times 1,60 \cdot 10^{-19}} \times 63,5$$

ت.ع.

$$m(Cu) = 2,37 \cdot 10^{-1} \text{ g}$$

←

-6 في الحقيقة توجد بجوار الكاثود أنواع كيميائية أخرى قابلة للاختزال كجزينات الماء، و أيونات الأكسنيوم  $H_3O_{(aq)}^+$  تنافس اختزال أيونات النحاس. و لذلك تكون كتلة النحاس المتوضع أصغر من نقصان كتلة الأنود.