الدرس 8 : التحولات الكيميائية القسرية

السلسلة ⑧

التمرين ①⓪ □□■

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 ②⓪ □□■

على المستوى الصناعي يحضر فلز الكادميوم $Cd_{(s)}$ بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول مائي لكبريتات الكادميوم $(Cd^{2+}_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)})$ مع حمض الكبريتيك $(2H^+_{(aq)} + SO^{2-}_{4(aq)})$.

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 $I = 25,0\ kA$.

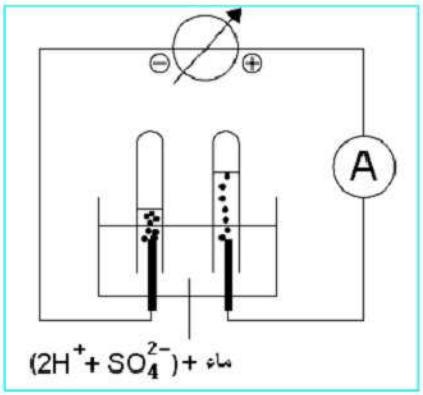
أحسب كتلة الفلز المتوضع بعد المدة $\Delta t = 12\ h$ من التحليل الكهربائي.

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

المزدوجات مختزل/ مؤكسد للأنواع الكيميائية المتواجدة: $Al^{3+}_{(aq)} / Al_{(s)}$ ؛ $Pb^{2+}_{(aq)} / Pb_{(s)}$ ؛ $Cd^{2+}_{(aq)} / Cd_{(s)}$ ؛ $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$ ؛ $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$ ؛ $SO^{2-}_{4(aq)} / SO_{2(g)}$ ؛ $S_2O^{2-}_{8(aq)} / SO^{2-}_{4(aq)}$.

التمرين ③⓪ □□■

في حوض للتحليل الكهربائي ذي إلكترودين من الغرافيت، يُسكب 200 ml من الماء ثم 50 ml من حمض الكبريتيك. يُغطى كل إلكترود بأنبوب اختبار مملوء بالماء، و تُنجز الدارة الممثلة في الشكل التالي.



تُضبط 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 الممكن حدوثها.

2- حدد منحى تنقل حملة الشحنة محددا نوعها.

3- في الواقع ينطلق غاز الهيدروجين بجوار الكاتود، بينما ينطلق غاز الأكسجين بجوار الأنود.

استنتج معادلة التفاعل المتعلقة بالتحول 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: $O_{2(g)} / H_2O_{(l)}$ ؛ $H^+_{(aq)} / H_{2(g)}$ ؛ $SO^{2-}_{4(aq)} / SO_{2(g)}$ ؛ $S_2O^{2-}_{8(aq)} / SO^{2-}_{4(aq)}$.

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

Moutamadris.ma

التمرين ④

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: $Sn^{2+}_{(aq)}/Sn_{(s)}$ و $O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$

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

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

نغمر الصفيحة الفولاذية كليا في محلول كبريتات القصدير $Sn^{2+}_{(aq)}+SO^{2-}_{4(aq)}$، ثم ننجز 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 الأكسجين على مستوى إلكترود الغرافيت. أكتب معادلة التفاعل.
3- يستغرق التحليل الكهربائي مدة 10 min بتيار شدته ثابتة تساوي I = 5 A .
أحسب كتلة القصدير التي توضعت.

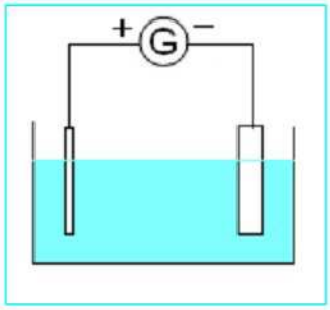
التمرين ⑤

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

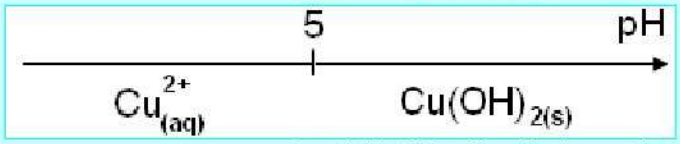
في حالة تنقية فلز النحاس يتكون الإلكتروليت من أيونات النحاس Cu^{2+} و أيونات الكبريتات SO_4^{2-} و حمض الكبريتيك.

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 محددا 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:



اشرح، كيفيا، 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 $\Delta t = 30,0\ min$. شدة التيار ثابتة و تساوي $I = 400\ mA$.

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

1- هل صفيحة الفولاذ تمثل الأنود أم الكاتود؟
2- عبر عن كمية الكهرباء Q بدلالة I و Δt.
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 $|\Delta m(Cu)|=2,41.10^{-1}g$. أعط تفسيرا لذلك.

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

Moutamadris.ma

التمرين ①

1- معادلة التفاعل الحاصل عند كل إلكترود

• عند الكاتود(الإلكترود السالب) يتوضع الزنك نتيجة اختزال أيونات الزنك حسب المعادلة:

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

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

$$2I^-_{(aq)} \rightleftarrows I_{2(g)} + 2e^-$$

2- المعادلة الحصيلة

نجمع نصفي المعادلة: $Zn^{2+}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)} \rightleftarrows Zn_{(s)} + I_{2(g)}$

3.1- كمية مادة اليود الناتج

ننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأكسدة.

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

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

من جهة أخرى، كمية المادة للإلكترونات المتنقلة 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: $n_f(I_2) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

ت.ع. $n_f(I_2) = \frac{0,30 \times 2 \times 3\ 600}{2 \times 96\ 500}$ ← $n_f(I_2) = 1,1.10^{-2}\ mol$

3.2- كتلة الزنك المتوضع

تبين المعادلة الحصيلة أن للناتجين نفس المعامل التناسبي، إذن كمية مادة الزنك الناتجة هي:

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

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

ت.ع. $m(Zn) = \frac{0,30 \times 2 \times 3\ 600}{2 \times 96\ 500} \times 65,4$ ← $m(Zn) = 0,73\ g$

التمرين ②

1- معادلات التفاعلات الممكن حدوثها

• جرد الأنواع الكيميائية:

	في الإلكترودين	في المحلول
الذرات	$Al_{(s)}$ (الكاتود) ، $Pb_{(s)}$ (الأنود)	
الكاتيونات		$Cd^{2+}_{(aq)}$ ، $H^+_{(aq)}$
الأنيونات		$SO^{2-}_{4(aq)}$
الجزيئات		$H_2O_{(l)}$ (المذيب)

• معادلات التفاعلات عند الأنود:

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

$$Pb_{(s)} \rightleftarrows Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

$$2SO^{2-}_{4(aq)} \rightleftarrows S_2O^{2-}_{8(aq)} + 2e^-$$

$$2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^-$$

Moutamadris.ma

• معادلات التفاعلات عند الكاثود:
على مستوى الكاثود يحدث اختزال، و تفاعلات الاختزال المحتملة هي:

$$Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cd_{(s)}$$

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

$$SO^{2-}_{4(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

☜ تنبيه: يرجى مراجعة التذكير الخاص بكتابة نصف معادلة أكسدة أو اختزال في الدرس الأول من المحزوءة الأولى.

2.1- نواتج التحليل الكهربائي

• على الكاثود: التوضع الفلزي هو لفلز الكادميوم،
• على الأنود: الغاز المتصاعد هو غاز الأكسجين.

2.2- المعادلة الحصيلة للتفاعل

• معادلة الاختزال الكاثودي: $Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cd_{(s)}$

• معادلة الأكسدة الأنودية: $2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+ + 4e$

3- كتلة الفلز المتوضع

يتعلق الأمر بفلز الكادميوم، ننشئ إذن جدول التقدم لتفاعل الاختزال الكاثودي:

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

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

من جهة أخرى، كمية المادة للإلكترونات المتبادلة 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: $n_f(Cd) = x_f$

نستنتج كمية المادة للكادميوم المتوضع: $n_f(Cd) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F}$

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

ت.ع. $m(Cd) = \frac{25,0 \times 10^3 \times 12 \times 3\,600}{2 \times 96\,500} \times 112,4$ ‹ $m(Cd) = 6,29 \cdot 10^5\ g = 629\ kg$

⚀ التمرين ③⓪

1- • جرد الأنواع الكيميائية:
إلكترودا الغرافيت لا يتدخلان في هذا التحليل، نكتفي بجرد الأنواع الكيميائية المتواجدة في المحلول. و هي:

$H^+_{(aq)}$ و $SO^{2-}_{4(aq)}$ و $H_2O_{(l)}$

• التفاعلات المحتملة:

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

$$2SO^{2-}_{4(aq)} \rightleftarrows S_2O^{2-}_{8(aq)} + 2e^-$$

$$2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^-$$

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

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

$$SO^{2-}_{4(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows SO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

2- منحى تنقل حملة الشحنة

• في الدارة الكهربائية: تنتقل الإلكترونات من القطب السالب للمولد إلى الكاثود، و من الأنود إلى قطبه الموجب.
• في المحلول الإلكتروليتي: تنتقل الأيونات $H^+_{(aq)}$ من الأنود إلى الكاثود، في منحى التيار. بينما تتحرك الأيونات $SO^{2-}_{4(aq)}$ من الكاثود إلى الأنود، في منحى تنقل الإلكترونات.

Moutamadris.ma

3- معادلة التفاعل

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

$$2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^- \quad (\times 1)$$

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

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

نستنتج المعادلة الحصيلة:

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

4- حجم الغازين

ننشئ الجدول الوصفي لتفاعل الأكسدة مثلا.

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

من الجدول نستنتج كمية المادة للإلكترونات المتنقلة: $n(e^-) = 4x_f$

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

و بالتالي، التقدم النهائي هو: $x_f = \frac{I \cdot \Delta t}{4F}$

• حجم غاز الأكسجين:

حسب الجدول كمية المادة لغاز الأكسجين الناتج هي: $n_f(O_2) = x_f$

نستنتج حجمه: $V(O_2) = x_f \cdot V_m \leftarrow V(O_2) = \frac{I \cdot \Delta t}{4F} \cdot V_m$

ت.ع. $V(O_2) = \frac{0,4 \times 13 \times 60}{4 \times 96\ 500} \times 24 \leftarrow V(O_2) = 1,94.10^{-2} l = 19,4\ ml$

• 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 ④⓪

□□■

1- كاتود أم أنود؟

يتوضع فلز القصدير حسب تفاعل اختزال، معادلته: $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Sn_{(s)}$

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:

$$2H_2O_{(l)} \rightleftarrows O_{2(g)} + 4H^+ + 4e^- \quad (\times 1)$$

• على مستوى الكاتود: $Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Sn_{(s)} \quad (\times 2)$

نستنتج المعادلة الحصيلة:

$$2Sn^{2+}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} \rightleftarrows 2Sn_{(s)} + O_{2(g)} + 4H^+$$

3- كتلة القصدير المتوضع

ننشئ جدول التقدم لتفاعل الاختزال الكاتودي:

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

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

كمية المادة للإلكترونات المتنقلة تحقق أيضا العلاقة التالية: $n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$

Moutamadris.ma

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

و حسب الجدول كمية المادة للقصدير المتوضع هي: $n_f(Sn) = x_f$

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

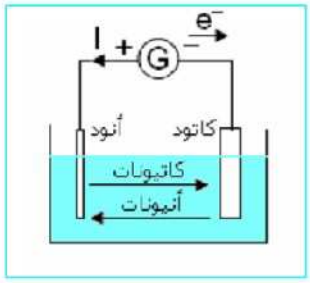
و بالتالي كتلته: $m(Sn) = \frac{I \cdot \Delta t}{2F} \cdot M(Sn)$

ت.ع. $m(Cd) = \frac{5 \times 10 \times 60}{2 \times 96\ 500} \times 118,7$ ← $m(Cd) = 1,845\ g$

التمرين ⑤⓪

الجزء 1

-1



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

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

• عند الكاتود: اختزال أيونات النحاس حسب المعادلة $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cu_{(s)}$

-4 المعادلة الحصيلة للتفاعل هي: $Cu_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftarrows Cu_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)}$

-5 عندما يتم اختزال أيون $Cu^{2+}_{(aq)}$ عند الكاتود، يتكون أيون $Cu^{2+}_{(aq)}$ 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 pH الوسط أصغر من5: و هذا هو دور حمض الكربتيك.

الجزء 2

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

-2 كمية الكهرباء هي: $Q = I \cdot \Delta t$

-3 تعبير كمية الكهرباء هو: $Q = n(e^-) \cdot N_A \cdot e$

-4 باعتبار معادلة الاختزال $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftarrows Cu_{(s)}$ لدينا العلاقة: $n(Cu) = \frac{n(e^-)}{2}$

-5 كمية مادة النحاس المتوضع هي: $n(Cu) = \frac{I \cdot \Delta t}{2N_A \cdot e}$

و بالتالي كتلته هي: $m(Cu) = \frac{I \cdot \Delta t}{2N_A \cdot e} \cdot M(Cu)$

ت.ع. $m(Cu) = \frac{0,4 \times 30 \times 60}{2 \times 6,02.10^{23} \times 1,60.10^{-19}} \times 63,5$

← $m(Cu) = 2,37.10^{-1}\ g$

-6 في الحقيقة توجد بجوار الكاتود أنواع كيميائية أخرى قابلة للاختزال كجزيئات الماء، و أيونات الأكسنيوم $H_3O^+_{(aq)}$ تنافس اختزال أيونات النحاس. و لذلك تكون كتلة النحاس المتوضع أصغر من نقصان كتلة الأنود.

Moutamadris.ma