

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

---

# **الفصل العشرون**

## **قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

Chapter 20<sup>th</sup>

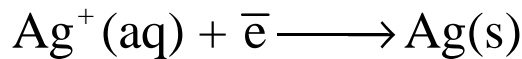
*Faraday's Laws*

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

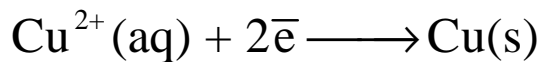
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**الفصل العشرون****قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي*****Faraday's Laws*****المظاهر الكمية للتحليل الكهربائي****Quantitative Aspects of Electrolysis****حساب عدد الإلكترونات****Counting Electrons**

عندما يمرر تيار كهربائي خلال محلول مائي لملح ذائب من نترات الفضة ( $\text{AgNO}_3$ ) مثلاً فإن معدن الفضة ينتج عند المهبط. ونحتاج إلى مول واحد من الإلكترونات مقابل كل مول من أيونات الفضة يختزل :



وإذا كان لدينا ملح للنحاس الثنائي في محلول مائي وحدث له اختزل، فإن مولان من الإلكترونات يتطلب لإنتاج مول واحد من معدن النحاس من اختزال مول واحد من أيونات النحاس (II):



كل من أنصاف التفاعلات هذه مثل أي معادلة تفاعل كيميائي موزون. وهذا يعني، كل يشرح الحقيقة أن كلاً من المادة (Matter)

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

والشحنة (Charge) يستهلكان في التفاعلات الكيميائية. لذلك، إذا قدرت عدد مولات الإلكترونات المتدفقة خلال خلية تحليل كهربائي، سوف تعرف عدد مولات الفضة أو النحاس الناتجة. وبشكل معاكس (conversely) إذا عرفت كمية الفضة أو النحاس الناتجة، يمكنك أن تحسب عدد مولات الإلكترونات التي مرت خلال الدائرة.

عدد الإلكترونات المنتقلة خلال تفاعل الريدوكس (redox reaction) (وهو اختصار لمصطلح تفاعلات أكسدة واختزال (reduction-oxidation) عادة يحدد بقياس التيار المتدفق في الدائرة الكهربائية الخارجية (external electrical circuit) خلال زمن معطى.

إن حاصل ضرب التيار (مقاساً بوحدة الأمبير) والزمن الفاصل (time interval) (بوحدة الثانية) يساوي الشحنة الكهربائية (electric charge) (بوحدة الكولوم C) للكهرباء التي تتدفق خلال الدائرة.

$$\text{charge} = \text{current} \times \text{time}$$

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampere} \times 1 \text{ second}$$

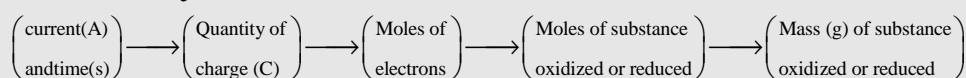
ثابت فاراداي والذي يساوي (96500 C/mol of electrons) يمكن أن يستخدم لإيجاد عدد مولات الإلكترونات من عدد

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

كولومات الشحنة . هذه المعلومة ذات أهمية تجريبية في كيمياء التحليل والتصنيع (chemical analysis and synthesis). والشكل التالي يبين العلاقة بين كمية الشحنة المستخدمة وكميات المواد المؤكسدة أو المختزلة أثناء عملية التحليل الكهربائي.

$$1 \text{ Faraday} = 6.022 \times 10^{23} \bar{e} = 96485 \text{ C} \approx 96500 \text{ C}$$



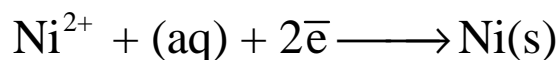
Calculations steps for electrolysis. These steps relate the quantity of electrical charge used in electrolysis to the amounts of substances oxidized or reduced.

**مثال (٢٠-١)**

ما كتلة النيكل التي ستترسب عند مهبط خلية تحليل كهربائي إذا مرر تيار كهربائي شدته (20 mA) لمدة ساعة (3600 s) خلال محلول مائي يحوي فائضاً من أيونات النيكل  $\text{Ni}^{2+}$ ؟

**الحل**

التفاعل عند المهبط يكون كالتالي :



وتكون الشحنة (Charge) التي مرت خلال الخلية :

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

$$\text{Charge} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ A} \times 3600 \text{ s}$$

$$\text{Charge} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ C/s} \times 3600 \text{ s}$$

$$\text{Charge} = 72 \text{ C}$$

وبتطبيق العلاقة التالية :

$$\left( \begin{array}{c} \text{current(A)} \\ \text{andtime(s)} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Quantity of} \\ \text{charge (C)} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Moles of} \\ \text{electrons} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Moles of substance} \\ \text{oxidized or reduced} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Mass (g) of substance} \\ \text{oxidized or reduced} \end{array} \right)$$

يمكن حساب كتلة النيكل كما يلي :

$$(72 \text{ C}) \left( \frac{1 \text{ mol } \bar{e}}{96500 \text{ C}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol Ni}}{2 \text{ mol } \bar{e}} \right) \left( \frac{58.7 \text{ g Ni}}{1 \text{ mol Ni}} \right) = 0.022 \text{ g Ni}$$

## مثال (٢٠-٢)

في الإنتاج التجاري للصوديوم بالتحليل الكهربائي، فإن الخلية تعمل عند (7.0 V) وتيار قدره ( $25 \times 10^3 \text{ A}$ ). ما كتلة الصوديوم الذي يمكن إنتاجه خلال ساعة؟

## الحل

باتباع الخطوات التالية :

$$\left( \begin{array}{c} \text{current(A)} \\ \text{andtime(s)} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Quantity of} \\ \text{charge (C)} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Moles of} \\ \text{electrons} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Moles of substance} \\ \text{oxidized or reduced} \end{array} \right) \longrightarrow \left( \begin{array}{c} \text{Mass (g) of substance} \\ \text{oxidized or reduced} \end{array} \right)$$

فإن :

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

$$(25 \times 10^3 \text{ A} \times 3600 \text{ s}) \left( \frac{1 \text{ mol } \bar{e}}{96500 \text{ C}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol Na}^+}{1 \text{ mol } \bar{e}} \right) \left( \frac{23 \text{ g Na}}{1 \text{ mol Na}} \right) = 21450.78 \text{ g Na}$$

وسنأخذ في الجزء التالي قانون فاراداي الأول الذي يمكن من خلاله حل هذه المسألة بالتطبيق مباشرة في القانون حيث كتلة المادة المترسبة بالإختزال (m) :

$$m = \frac{M_w \cdot I \cdot t}{Z \times 96500}$$

**مثال (٢٠-٣)**

أي التفاعلات التالية يتطلب فاراداي أكبر :

(أ) إنتاج (1 mol Al) من  $\text{Al}^{3+}$

(ب) إنتاج (2 mol of Na) من  $\text{Na}^+$

(ج) إنتاج (2 mol of Cu) من أيونات النحاس  $\text{Cu}^{2+}$ .

**مثال (٢٠-٤)****حسابات إنتاج غاز الهيدروجين من التحليل الكهربائي للماء**

كم من الطاقة الكهربائية تلزم لإنتاج (1.00 kg) من غاز الهيدروجين (حجمه عند STP حوالي 11200 L)، احسبها بوحدة

kWh

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

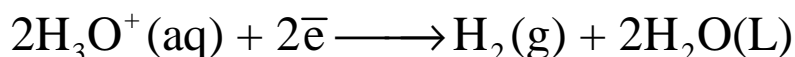
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## الحل

نحسب أولاً الشحنة المطلوبة (Required Charge) بالكولوم باستخدام ثابت فاراداي، ثم نستخدم التعريف للجول للحصول على وحدات الطاقة حيث :

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ coulomb}$$

نصف تفاعل الإختزال يبين أن (2 mol electrons) تنتج (1 mol H<sub>2</sub>(g)) أي ما وزنه (2.02 g).



عدد مولات الإلكترونات اللازم لإنتاج (1.00 kg H<sub>2</sub>) يحسب كما يلي:

$$1.00 \text{ kg H}_2 \times \left( \frac{1 \times 10^3 \text{ g}}{\text{kg}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol H}_2}{2.016 \text{ g H}_2} \right) \left( \frac{2 \text{ mole}}{1 \text{ mol H}_2} \right) = 9.92 \times 10^2 \text{ mole}$$

والآن يمكن حساب الشحنة باستخدام ثابت فاراداي :

$$9.92 \times 10^2 \text{ mol } \bar{e} \times \left( \frac{9.65 \times 10^4 \text{ C}}{1 \text{ mol } \bar{e}} \right) = 9.57 \times 10^7 \text{ C}$$

الطاقة (بالجولات) يمكن حسابها من الشحنة وجهد الخلية :

$$\text{Energy} = \text{charge} \times \text{voltage} = (9.57 \times 10^7 \text{ C}) \times (1.24 \text{ V}) = 1.19 \times 10^8 \text{ J}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

نحول الجولات الى كيلوات – ساعات (kWh)، وهي الوحدة التي نشاهدها عندما ندفع قيمة فاتورة الكهرباء (electric bill).

$$1.19 \times 10^8 \text{ J} \times \left( \frac{1 \text{ kWh}}{3.60 \times 10^6 \text{ J}} \right) = 33.1 \text{ kWh}$$

**مثال (٢٠-٥)**

في عملية إنتاج معدن الألومنيوم، فإن  $\text{Al}^{3+}$  يختزل الى معدن الألومنيوم باستخدام تيار مقداره حوالي (50000 A) وجهد منخفض قدره حوالي (4.0 V). ما مقدار الطاقة بوحدة (kWh) التي نحتاجها لإنتاج (2000 Metric Tons) من معدن الألومنيوم.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إذا تم غمس قطبين في محلول مائي لملح من الأملاح أو حمض أو قاعدة وتم توصيلهما بمصدر تيار، نجد حدوث تفاعلات كيميائية على سطح القطب.

**مثال توضيحي**

عند مرور تيار كهربائي في محلول حمض HCl وباستخدام قطبين من البلاتين، نجد تصاعد غاز الكلور عند الأنود وغاز الهيدروجين عند الكاثود، وتعتبر هذه التفاعلات أولية ويمكن أن تكون مصحوبة بتفاعلات ثانوية. والتفاعلات الأولية تتبع قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي.

ولقد قام مايكل فاراداي (Faraday) عام 1834م بدراسة التحليل الكهربائي وتوصل الى قانونين يحكمان عملية التحليل الكهربائي. فكان فاراداي أول من اكتشف بشكل كمي العلاقة الموجودة بين كمية التيار المستعمل ومدى التغير الكيميائي الذي يحدث عند الأقطاب أثناء التحليل الكهربائي.

**قانون فاراداي الأول**

وينص على أنه : " تتناسب كمية المادة (g)  $m$  التي يطرأ عليها تغير كيميائي (أكسدة أو اختزال، ذوبان، ترسيب، أو تصاعد

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

غاز)) عند الأقطاب تناسباً طردياً مع كمية الكهرباء (Q) التي تمر في المحلول الإليكتروليتي أو المصهور".  
وباختصار: " كمية المواد الناتجة بالتحليل الكهربائي تتناسب طردياً مع كمية الكهرباء المارة في المحلول".  
وتقاس كمية الكهرباء (Q) بالكولوم (Coulomb)، وهو عدد الأمبيرات (شدة التيار) المارة في وحدة الزمن.

**صيغة القانون الأول رياضياً :**

بافتراض أن كمية المادة التي يطرأ عليها تغير عند الأقطاب (ذوبان، ترسيب، تصاعد) كتلتها (m) (بوحدتها g) وشدة التيار المطبقة هي (I) (بوحدتها الأمبير A)، وزمن مرور التيار هو (t) (بوحدتها s).

**فإن القانون الأول بصورته الرياضية :**

$$m \propto Q$$

$$m \propto I \cdot t$$

$$m = K \cdot I \cdot t$$

حيث K : ثابت التناسب، ويسمى بالمكافئ الكهروكيميائي (electrochemical equivalents). وتعتمد قيمته على نوع المادة التي يطرأ عليها تغير.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

ويمكن تعريف المكافئ الكهروكيميائي (المكافئ الكيميائي الكهربائي) **K** رياضياً :

$$K = \frac{m}{I \cdot t}$$

$$K = \frac{m}{Q} = g/C$$

ومن العلاقة الرياضية ( $K = m/Q$ ) يمكن تعريف المكافئ الكهروكيميائي بأنه :

كمية المادة (بالجرامات أو الكيلوجرامات) التي يطرأ عليها تغير (أكسدة أو اختزال) نتيجة مرور كمية من الكهرباء مقدارها كولوم واحد.

**حساب المكافئ الكهروكيميائي**

يحسب من العلاقة التالية :

$$K = \frac{Mw}{z F} = \frac{Ew}{F}$$

أو من العلاقة التالية :

$$K = \frac{Aw}{z F} = \frac{Ew}{F}$$

حيث أن :

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

(Mw) : تعبر عن الوزن الجزيئي عندما يكون الناتج جزيئاً مثل  
(H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>....).

(Aw) : تعبر عن الوزن الذري عندما يكون الناتج معدناً مثل  
(Ag, Cu ,...).

(Ew) : يعبر عن الوزن المكافئ وهو عبارة عن قسمة الوزن  
الجزيئي أو الوزن الذري على عدد الإلكترونات المنتقلة في  
التفاعل الموزون (z).

والوزن المكافئ الكهروكيميائي يساوي الكتلة : (m = K) عند  
مرور واحد كولوم في المحلول. وعلى هذا يعرف المكافئ  
الكيميائي الكهربائي (K) بأنه :

**"وزن العنصر المترسب بمرور واحد كولوم من الكهرباء".**

والجدول ( ٢٠-١ ) مدون فيه بعض المكافئات الكيميائية الكهربائية  
لبعض العناصر المعروفة.

وبدمج العلاقتين  $\left( K = \frac{Aw}{ZF} \right)$ , (m = K . I . t) في قانون واحد :

$$m = K . I . t$$

$$K = \frac{Aw}{ZF}$$

$$m = \left( \frac{Aw}{ZF} \right) . I . t$$

$$\Rightarrow m = \frac{Aw . I . t}{Z . F}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

ويمكن أن تؤول العلاقة  $\left( m = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{Z \cdot F} \right)$  إلى :

$$m = \frac{Ew \cdot I \cdot t}{F}$$

وبما أن  $(Q = I t)$  فيمكن كتابة العلاقة  $\left( m = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{Z \cdot F} \right)$  كما

يلي :

$$m = \frac{Aw \cdot Q}{Z \cdot F}$$

$$m = \frac{Ew \cdot Q}{F}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزالي

جدول (٢٠-١) : المكافئات الكيميائية الكهربائية لبعض العناصر

Element		Electrochemical Equivalency mg/coulomb	Electrochemical Reaction	Valency
Hydrogen	H <sub>2</sub>	0.01045	2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub>	1
Oxygen	O <sub>2</sub>	0.0829	4OH <sup>-</sup> → O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup>	2
Fluorine	F <sub>2</sub>	0.1969	2F <sup>-</sup> → F <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	1
Sodium	Na	0.2382	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	1
Magnesium	Mg	0.1260	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	2
Aluminium	Al	0.0932	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	3
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	0.3674	2Cl <sup>-</sup> → Cl <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	1
Potassium	K	0.4052	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	1
Calcium	Ca	0.2075	Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ca	2
Chromium	Cr	0.1797	Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Cr	3
Iron	Fe	0.2894	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	2
Cobalt	Co	0.3054	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Co	2
Nickel	Ni	0.3041	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni	2
Copper	Cu	0.3292	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	2
Zinc	Zn	0.3387	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	2
Bromine	Br <sub>2</sub>	0.8281	2Br <sup>-</sup> → Br <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	1
Silver	Ag	1.1180	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	1
Cadmium	Cd	0.5825	Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cd	2
Iodine	I <sub>2</sub>	1.315	2I <sup>-</sup> → I <sub>2</sub> + 2e <sup>-</sup>	1
Gold	Au	2.041	Au <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Au	1
Mercury	Hg	1.040	Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Hg	2

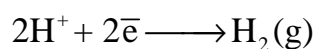
## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزاري

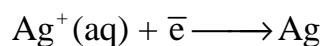
## مثال (٢٠-٦)

احسب الوزن المكافئ الكهروكيميائي لكل من الهيدروجين ( $H_2$ ) والفضة ( $Ag$ ) إذا علمت أن الكتل الذرية ( $Ag = 108, H = 1$ )

## الحل



$$K_{H_2} = \frac{2 \times 1}{2 \times 96500} = 1.036 \times 10^{-5} g/C = 1.04 \times 10^{-8} Kg/C$$



$$K_{Ag} = \frac{108}{1 \times 96500} = 1.119 \times 10^{-3} g/C = 1.12 \times 10^{-6} Kg/C$$

وبالتعويض بقيمة  $\left( K = \frac{Aw}{Z F} \right)$  في القانون الأول :

نحصل على :  $(m = K \cdot I \cdot t)$

$$m = K \cdot I \cdot t$$

$$m = \frac{Aw}{Z F} \cdot I \cdot t$$

$$m = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{Z \times 96500} \quad (\text{where } Aw \text{ for deposited atoms : Na, K, Cr, Cu, Ag})$$

Or

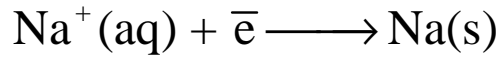
$$m = \frac{Mw \cdot I \cdot t}{Z \times 96500} \quad (\text{where } Mw \text{ for released molecules as : } H_2, Cl_2)$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

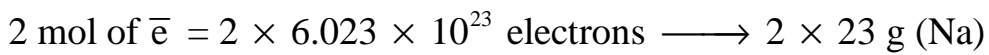
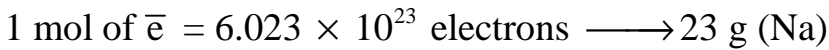
**توضيح لقانون فاراداي الأول**

لنأخذ مثلاً ترسيب أيونات الصوديوم (الوزن الذري لمول منه يساوي 23 g)



فعندما يكتسب أيون صوديوم إلكترونًا واحداً فإنه يتكون ذرة صوديوم واحدة.

وإذا كان لدينا مول من أيونات الصوديوم (عدد أفوجادرو من أيونات الصوديوم) فإنه يكتسب مولاً واحداً من الإلكترونات (عدد أفوجادرو من الإلكترونات) ليترسب مول من ذرات الصوديوم (عدد أفوجادرو من ذرات الصوديوم) ووزن المول من الصوديوم هو (23 g).



أي أن كمية المادة المتكونة تعتمد على عدد مولات الإلكترونات أي كمية الكهرباء المارة في خلية التحليل الكهربائي.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**تعريف الفاراداي**

الفاراداي هو :

- " كمية الكهرباء التي شحنتها تعادل شحنة مول واحد من الإلكترونات ولها القدرة على ترسيب مكافئ جرامي واحد من أي عنصر".

أو

- " هو كمية الكهرباء التي يجب أن تزود بها خلية ما لكي تنتج مولاً واحداً من الإلكترونات".

1 فاراداي = شحنة مول من الإلكترونات
-------------------------------------

وحيث أن شحنة الإلكترون الواحد تساوي (1.60198 × 10<sup>-19</sup> Coulomb) وبالتالي فإن شحنة واحد فاراداي يساوي :

$1\text{Faraday} = 1.60198 \times 10^{-19} \times 6.023 \times 10^{23} = 96487 \text{ Coulomb} \cong 96500 \text{ C}$ <p>وللتقريب فإننا سنستخدم قيمة فاراداي بـ 96500 لتسهيل الحسابات. والرقم للفارادي (96487 C) وجد بالتجربة قبل إثباته بالحسابات.</p>
---

**تعريف الكولوم**

"هو كمية الشحنة التي تتحرك بعد أي نقطة معينة من الدائرة عندما يمر فيها تيار مقداره أمبير واحد (1 A) لمدة ثانية واحدة (1s)

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampere} \times 1 \text{ second}$$

$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{S}$
--

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**حساب كمية الكهرباء Q****١) تحسب كمية الكهرباء من العلاقة :**

$$Q = I \cdot t$$

حيث I : شدة التيار بوحدة الأمبير (A).

t : الزمن بوحدة الثانية (s).

ووحدة كمية الكهرباء (Q) هي (A . S) أو كولوم (C)

**٢) لتحويل كمية الكهرباء الى فاراداي نتبع العلاقة :**

$$F = \frac{Q}{96500}$$

**قوانين مشتقة من قانون فاراداي الأول**  $\left( m = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{Z \cdot F} \right)$

١) القيمة I . t/F تعبر عن عدد الفاراداي (F) حيث :

$$F = \frac{I \cdot t}{96500}$$

وبالتعويض بها في المعادلة  $\left( m = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F} \right)$  نحصل على :

$$m = \frac{A_w \cdot F}{z}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

وسبق وأن وضعنا في قوانين طرق التعبير عن التركيز أن عدد المولات (n) يحسب من المعادلة :

$$n = \frac{m}{Aw}$$

$$m = n \cdot Aw$$

وبالتعويض بقيمة (m = n . Aw) في المعادلة

$$: \left( m = \frac{Aw \cdot F}{Z} \right)$$

$$n \cdot Aw = \frac{Aw \cdot F}{Z}$$

وبقسمة الطرفين على Aw نحصل على :

$$n = \frac{F}{Z}$$

حيث (F) : كمية الكهرباء بالفاراداي.

وعند تحويل كمية الكهرباء بالكولوم فإن العلاقة  $\left( n = \frac{F}{Z} \right)$  تؤول

الى:

$$n = \frac{F}{Z}$$

$$n = \frac{Q}{z \times 96500}$$

$$n = \frac{I \times t}{z \times 96500}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**قانون فاراداي الثاني**

**هناك تعابير كثيرة لهذا القانون منها :**

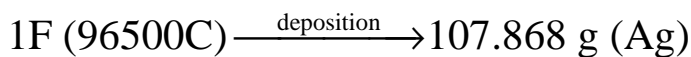
- "عند مرور نفس الكمية من الكهرباء، في خليتي تحليل كهربائي متصلتين على التوالي، فإن كميات المواد التي يطرأ عليها تغير عند الأقطاب (أكسدة أو اختزال) تتناسب طردياً مع أوزانها المكافئة".
- "إن كمية الكهرباء المطلوبة لفصل مكافئ جرامي واحد من المواد المختلفة تكون واحدة، ووجد أن هذه الكمية تساوي واحد فاراداي"
- " خلال أي عملية تحليل كهربائي فإن  $(1 F = 96500 C)$  ينتج وزناً مكافئاً واحداً من المادة" (يؤدي الى ترسيب (أو تصاعد) واحد مكافئ جرامي من المادة التي يطرأ عليها تغير (أكسدة أو اختزال) عند القطب.

**مثال توضيحي**

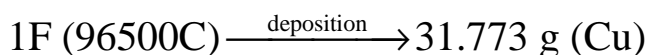
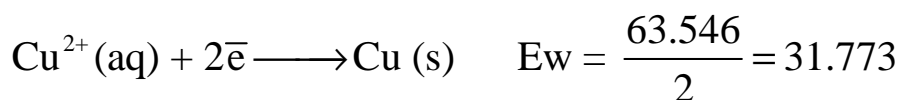
- بمرور كهرباء قدرها  $(96500 C)$  في محلول يحتوي على نترات الفضة  $(AgNO_3)$  نجد أن الوزن المترسب من فلز الفضة على الكاثود يساوي  $(107.868 g)$  وهذه القيمة تساوي مكافئ جرامي واحد من الفضة.

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



■ بمرور كهرباء قدرها (96500 C) في محلول يحتوي على كبريتات نحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) نجد أن الوزن المترسب من فلز النحاس على الكاثود يساوي (31.773 g) وهذه القيمة تساوي مكافئ جرامي واحد من النحاس.



فإذا كان ( $m_1, m_2$ ) هما كتلتا المادتين اللتين طرأ عليهما تغير، وكانت أوزانها المكافئة ( $E_{w_1}, E_{w_2}$ )، فإن القانون الثاني يمكن صياغته رياضياً :

$$m_1 \propto E_{w_1} \Rightarrow m_1 = K \cdot E_{w_1}$$

$$m_2 \propto E_{w_2} \Rightarrow m_2 = K \cdot E_{w_2}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{K \cdot E_{w_1}}{K \cdot E_{w_2}}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{E_{w_1}}{E_{w_2}}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

والصيغة التالية تعبر عن قانون فاراداي الثاني لخلتي تحليل

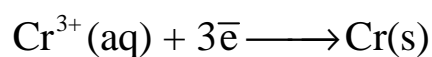
كهربائي متصلتين على التوالي :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{Ew_1}{Ew_2}$$

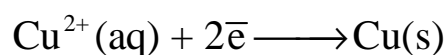
ولحساب الوزن المكافئ لأي معدن يترسب على القطب فإننا نقسم

وزنه الذري على عدد الإلكترونات المتنقلة في التفاعل.

**مثال (٧-٢٠)**



$$Ew_{\text{Cr}} = \frac{Aw_{\text{Cr}}}{3}$$



$$Ew_{\text{Cu}} = \frac{Aw_{\text{Cu}}}{2}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**تطبيقات حسابية على قوانين فاراداي****مثال (٢٠-٨)**

مرر تيار شدته (1.5 A) في محلول لكلوريد النحاس الثنائي ولمدة ساعة. فإذا كان وزن النحاس المترسب (1.778 g) فما الوزن المكافئ للنحاس؟

**الحل**

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$m = \frac{Ew_{Cu} \cdot I \cdot t}{F}$$

$$Ew_{Cu} = \frac{m \cdot F}{I \cdot t}$$

$$Ew_{Cu} = \frac{1.778 \times 96500}{1.5 \times 60 \times 60}$$

$$Ew_{Cu} = 31.77 \text{ g/Eq}$$

**مثال (٢٠-٩)**

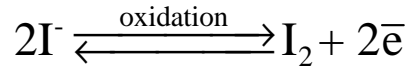
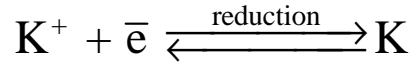
إذا مرر تيار كهربائي شدته (10.4 A) لمدة (23 Min) في محلول يوديد البوتاسيوم KI، احسب كتلة المواد التي تتجمع عند القطبين . علماً بأن الكتل الذرية : (K = 39.1, I = 127)

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

معادلتني تفاعلي ترسيب اليود والبوتاسيوم :



وبتطبيق قانون فاراداي الأول يمكن حساب كتلتي البوتاسيوم  
واليود المترسبتين :

$$m_{\text{I}_2} = \frac{\text{Mw} \cdot \text{I} \cdot t}{z \cdot \text{F}}$$

$$m_{\text{I}_2} = \frac{(2 \times 127) \times (10.4) \times (23 \times 60)}{2 \times 96500}$$

$$m_{\text{I}_2} = 18.89 \text{ g}$$

$$m_{\text{K}} = \frac{\text{Aw} \cdot \text{I} \cdot t}{z \cdot \text{F}}$$

$$m_{\text{K}} = \frac{39.1 \times 10.4 \times 23 \times 60}{1 \times 96500}$$

$$m_{\text{K}} = 5.8 \text{ g}$$

## مثال (٢٠-١٠)

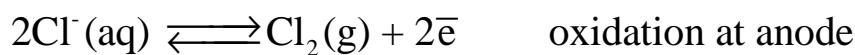
احسب كتلة الألومينيوم المترسبة (Al) والكلور المتصاعدة (Cl<sub>2</sub>)  
عند التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الألومينيوم (AlCl<sub>3</sub>)، إذا  
كانت شدة التيار المارة (5 A) لمدة ساعتين بين أقطاب بلاتين.  
الكتل الذرية (Cl = 35.5, Al = 27)

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

نكتب تفاعلات المصعد والمهبط كما يلي :



ولحساب كتلة الألومنيوم المترسبة والكلور المتصاعدة نطبق قانون فاراداي:

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{M_{\text{wCl}_2} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{(2 \times 35.5) \times (5) \times (2 \times 3600)}{2 \times 96500}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = 13.24 \text{ g}$$

$$m_{\text{Al}} = \frac{(A_{\text{wAl}}) \times I \times t}{z \times F}$$

$$m_{\text{Al}} = \frac{27 \times 5 \times 2 \times 3600}{3 \times 96500}$$

$$m_{\text{Al}} = 3.36 \text{ g}$$

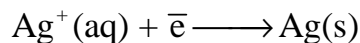
## مثال (٢٠-١١)

احسب الزمن اللازم لترسيب (2.16 g) من الفضة عند إمرار تيار كهربائي في محلول نترات الفضة شدته (32 A) علماً بأن الكتلة الذرية للفضة تساوي (108 g/mol).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل



$$m_{\text{Ag}} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Ag}} \cdot z \cdot F}{A_w \cdot I}$$

$$t = \frac{2.16 \times 1 \times 96500}{108 \times 32}$$

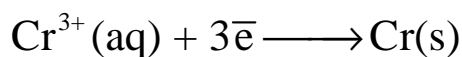
$$t = 60.31 \text{ S}$$

## مثال (٢٠-١٢)

كم دقيقة لازمة لترسيب (7 g) من الكروم وذلك بإمرار تيار ثابت

قدره (3A) في محلول  $\text{CrCl}_3$  (حيث  $A_w = 52$ )

**الحل :** معادلة التفاعل :



ولحساب الزمن نتبع قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Cr}} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cr}} \cdot z \cdot F}{A_w \cdot I}$$

$$t = \frac{7 \times 3 \times 96500}{52 \times 3}$$

$$t = 12990.38 \text{ S}$$

$$t = \frac{12990.38 \text{ s}}{60 \text{ s min}^{-1}} \Rightarrow t = 216.51 \text{ min}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-١٣)

ما كمية الكهرباء بالفاراداي اللازمة لإنتاج :

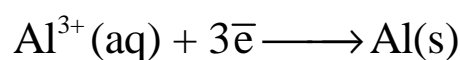
27 g of Al (أ)

8 g of O<sub>2</sub> (ب)

علماً بأن الكتل الذرية : (Al = 27, O = 16)

## الحل

(أ) معادلة تكوين الألومنيوم :



$$m_{\text{Al}} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$27 = \frac{27 \times I \times t}{3 \times 96500}$$

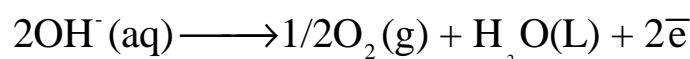
$$I t = \frac{27 \times 3 \times 96500}{27}$$

$$I t = 289500 \text{ C}$$

$$I t = 289500 \text{ C} \times \left( \frac{1 \text{ F}}{96500 \text{ C}} \right)$$

$$I t = 3 \text{ F}$$

(ب) معادلة تكوين الأكسجين :



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$m_{O_2} = \frac{Mw \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$8 = \frac{32 \times I \times t}{2 \times 96500}$$

$$I t = \frac{8 \times 2 \times 96500}{32}$$

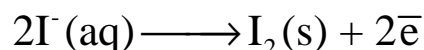
$$I t = 48250 \text{ C}$$

$$I t = 48250 \text{ C} \times \left( \frac{1 \text{ F}}{96500 \text{ C}} \right)$$

$$I t = 0.5 \text{ F}$$

**مثال (٢٠-١٤)**

احسب كمية الكهرباء بالكولوم لتكوين (10 g) من اليود من محلول يوديد البوتاسيوم وفقاً للمعادلة التالية :



(علماً بأن الكتلة الذرية لليود :  $A_{wI} = 127$ ).

**الحل**

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{I_2} = \frac{(Mw_{I_2}) \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$I t = \frac{m_{I_2} \cdot z \cdot F}{Mw_{I_2}}$$

$$I t = \frac{10 \times 2 \times 96500}{(2 \times 127)}$$

$$I t = 7598.4 \text{ C}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## مثال (٢٠-١٥)

عند مرور تيار كهربائي على خليتين متصلتين على التوالي (شدة التيار المارة واحدة)، تحتوي إحداهما على محلول  $\text{CuSO}_4$  والأخرى على محلول  $\text{AgNO}_3$ ، ترسبت كمية من الفضة مقدارها (2 g) احسب :

(أ) وزن النحاس المترسب

(ب) شدة التيار المار لترسيب (2 g) من الفضة في زمن قدره ساعة.

(علماً بأن الكتل الذرية :  $\text{Cu} = 63.5$ ,  $\text{Ag} = 108$ ).

## الحل

(أ) بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

$$\frac{m_{\text{Ag}}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{Ew_{\text{Ag}}}{Ew_{\text{Cu}}}$$

$$\frac{2 \text{ g}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{(108/1)}{(63.5/2)}$$

$$\frac{2 \text{ g}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{108}{31.75} \Rightarrow m_{\text{Cu}} = \frac{2 \times 31.75}{108}$$

$$m_{\text{Cu}} = \frac{63.5}{108} = 0.59 \text{ g}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

ب) حساب شدة التيار المار لترسيب (2 g) من الفضة في زمن قدره ساعة.

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Ag}} = \frac{Aw_{\text{Ag}} \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$2 = \frac{108 \times I \times 3600 \text{ S}}{1 \times 96500}$$

$$I = \frac{2 \times 1 \times 96500}{108 \times 3600}$$

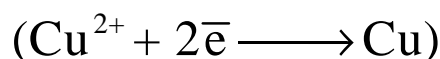
$$I = 0.5\text{A}$$

## مثال (٢٠-١٦)

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار كهربائي مقداره (7 A) ليرسب (241 g) من النحاس من محلول كلوريد النحاس II (CuCl<sub>2</sub>)، علماً بأن (Aw = 63.5) .

## الحل

معادلة الترسيب :



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Cu}} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$241 \text{ g} = \frac{63.5 \times 7 \times t}{2 \times 96500}$$

$$t = \frac{241 \times 2 \times 96500}{63.5 \times 7}$$

$$t = 104641.17 \text{ S}$$

$$t = 104641.17 \text{ S} \times \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ S}} \right)$$

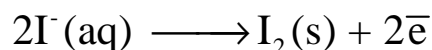
$$t = 29.067 \text{ h}$$

## مثال (٢٠-١٧)

ما شدة التيار بالأمبير اللازم لتحرير (10 g) من اليود من محلول يوديد البوتاسيوم في زمن قدره ساعة واحدة (حيث  $A_w = 127$ ).

## الحل

معادلة تحرير اليود :



وبتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{I}_2} = \frac{M_w_{\text{I}_2} \times I \times t}{Z \cdot F}$$

$$10 \text{ g} = \frac{(2 \times 127) \times I \times 3600}{2 \times 96500}$$

$$I = \frac{10 \times 2 \times 96500}{(2 \times 127) \times 3600} = 2.11 \text{ A}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

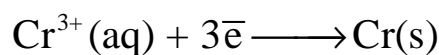
إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-١٨)

كم من الوقت يلزم لإنتاج (25 g) من الكروم (Cr) من محلول  $\text{CrCl}_3$  بإمرار تيار كهربائي مقداره (2.75 A) ( $A_w = 52$ )

## الحل

معادلة ترسيب الكروم :



ولحساب الزمن نتبع قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Cr}} = \frac{A_w_{\text{Cr}} \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cr}} \cdot Z \cdot F}{A_w_{\text{Cr}} \cdot I}$$

$$t = \frac{25 \times 3 \times 96500}{52 \times 2.75}$$

$$t = 50611.89 \text{ S}$$

$$t = 14.06 \text{ hours}$$

## مثال (٢٠-١٩)

كم من الزمن (بالساعة) يلزم لترسيب (21.4 g) من الفضة من محلول ( $\text{AgNO}_3$ ) بتيار قدره (10.0 A).  
(الكتلة الذرية للفضة :  $\text{Ag} = 108$ ).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

$$m_{\text{Ag}} = \frac{A_{\text{w}}_{\text{Ag}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Ag}} \cdot z \cdot F}{A_{\text{w}}_{\text{Ag}} \cdot I}$$

$$t = \frac{21.4 \times 1 \times 96500}{108 \times 10.0}$$

$$t = 1912.13 \text{ S}$$

$$t = 0.53 \text{ hours}$$

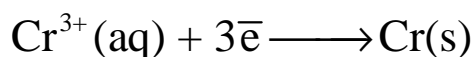
## مثال (٢٠-٢٠)

كم من الزمن بالساعة تلزم لترسيب 35.3 g من الكروم من

محلول  $\text{CrCl}_3$  بتيار قدره 6 A ؟ ( $A_{\text{w}}_{\text{Cr}} = 52 \text{ g/mol}$ )

## الحل

معادلة ترسيب (اختزال) الكروم هي :



$$m_{\text{Cr}} = \frac{A_{\text{w}}_{\text{Cr}} \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cr}} \cdot Z \cdot F}{A_{\text{w}}_{\text{Cr}} \cdot I}$$

$$t = \frac{35.3 \times 3 \times 96500}{52 \times 6}$$

$$t = 32754.327 \text{ S}$$

$$t = 32754.327 \times \left( \frac{1 \text{ h}}{3600} \right) \text{ hours} \Rightarrow t = 9.098 \text{ hours}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٢١)**

ما مقدار الزمن اللازم لمرور تيار شدته (10 A) خلال خلية بها مصهور كلوريد الباريوم (BaCl<sub>2</sub>) حتى ينتج كمية مقدارها :  
أ) 15 g من الباريوم.

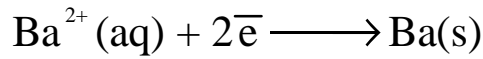
ب) احسب كمية الكلور المتكونة.

حيث أن (A<sub>w</sub>Ba = 137.3, A<sub>w</sub>Cl = 35.5)

**الحل**

أ) 15 g of Ba

معادلة اختزال (ترسيب) الباريوم :



$$m_{\text{Ba}} = \frac{A_{w\text{Ba}} \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Ba}} \cdot Z \cdot F}{A_{w\text{Ba}} \cdot I}$$

$$t = \frac{15 \times 2 \times 96500}{137.3 \times 10}$$

$$t = 2108.52 \text{ S}$$

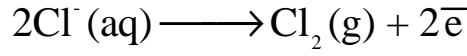
$$t = 0.586 \text{ h}$$

ب) حساب كمية الكلور المتكونة في نفس المدة :

معادلة تكوين غاز الكلور (تفاعل الأكسدة) :

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



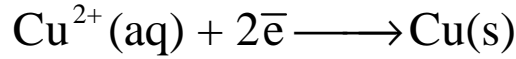
$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{Mw_{\text{Cl}_2} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{(2 \times 35.5) \times (10) \times (2108.52)}{2 \times 96500}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = 7.76 \text{ g}$$

## مثال (٢٠-٢٢)

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار مقداره (4 A) ليرسب (127 g) من النحاس من محلول كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ )، علماً بأن التفاعل عند الكاثود هو:



علماً بأن : ( $Aw_{\text{Cu}} = 63.5$ ,  $1 \text{ F} = 96500 \text{ C}$ )

## الحل

$$m_{\text{Cu}} = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cu}} \cdot z \cdot F}{Aw \cdot I}$$

$$t = \frac{127 \times 2 \times 96500}{63.5 \times 4}$$

$$t = 96500 \text{ S}$$

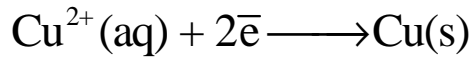
$$t = 26.8 \text{ h}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٢٣)**

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار كهربائي مقداره (7 A) ليرسب (241 g) من النحاس من محلول كلوريد النحاس  $\text{CuCl}_2$  علماً بأن التفاعل عند الكاثود هو :



(حيث  $A_{\text{Cu}} = 63.5$ ,  $1 \text{ F} = 96500 \text{ C}$ )

**الحل**

$$m_{\text{Cu}} = \frac{A_{\text{w}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cu}} \cdot z \cdot F}{A_{\text{w}} \cdot I}$$

$$t = \frac{241 \times 2 \times 96500}{63.5 \times 7}$$

$$t = 104641.2 \text{ S}$$

$$t = 29.067 \text{ h}$$

**مثال (٢٠-٢٤)**

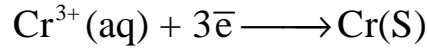
إذا لزم (96.5 C) لترسيب (0.0177 g) من الكروم الثلاثي  $\text{Cr}^{3+}$  بالتحليل الكهربائي. احسب الوزن الذري للكروم ( $F = 96500$ )

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

معادلة الترسيب :



$$m_{\text{Cr}} = \frac{Aw_{\text{Cr}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$0.0177 = \frac{Aw_{\text{Cr}} \times 96.5\text{C}}{3 \times 96500}$$

$$Aw_{\text{Cr}} = \frac{0.0177 \times 3 \times 96500}{96.5}$$

$$Aw_{\text{Cr}} = 53.1 \text{ g/mol}$$

## مثال (٢٠-٢٥)

ما شدة التيار بالأمبير اللازمة لترسيب (0.225 g) من Ni من محلول NiSO<sub>4</sub> في زمن قدره (10 Min) (F = 96500 C) (والكتلة الذرية = 58.71 = Aw<sub>Ni</sub>).

## الحل

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Ni}} = \frac{Aw_{\text{Ni}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$I = \frac{m_{\text{Ni}} \cdot z \cdot F}{Aw_{\text{Ni}} \cdot t}$$

$$I = \frac{0.225 \times 2 \times 96500}{58.71 \times (10 \times 60)}$$

$$I = 1.23 \text{ A}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

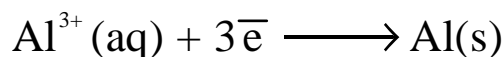
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-٢٦)

ما كتلة الألومنيوم التي تترسب بالتحلل الكهربائي نتيجة لمرور تيار قدره 40 A ولمدة 30 Min ( $A_{w_{Al}} = 27$ )

## الحل

معادلة التفاعل :



بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{Al} = \frac{A_{w_{Al}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{Al} = \frac{27 \times 40 \times (30 \times 60)}{3 \times 96500}$$

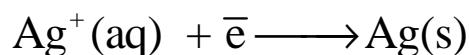
$$m_{Al} = 6.715g$$

## مثال (٢٠-٢٧)

كم ثانية تلزم لترسيب (21.4 g) من الفضة من محلول نترات الفضة  $AgNO_3$  بتيار قدره (10.0 A) (الكتلة الذرية 108  $A_{w_{Ag}} = 108$ ).

## الحل

معادلة التفاعل



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Ag}} = \frac{A_{\text{w}}_{\text{Ag}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Ag}} \cdot z \cdot F}{A_{\text{w}} \cdot I}$$

$$t = \frac{21.4 \times 1 \times 96500}{108 \times 10}$$

$$t = 1912.13 \text{ S}$$

## مثال (٢٠-٢٨)

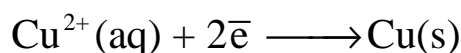
كم دقيقة تلزم لطلاء (5.00 g) من النحاس من محلول كبريتات

النحاس بتيار قدره (5.00 A) (الكتلة الذرية للنحاس :

$$(A_{\text{w}}_{\text{Cu}} = 63.5 \text{ g/mol})$$

## الحل

## معادلة التفاعل



## بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Cu}} = \frac{A_{\text{w}}_{\text{Cu}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Cu}} \cdot z \cdot F}{A_{\text{w}}_{\text{Cu}} \cdot I}$$

$$t = \frac{5 \times 2 \times 96500}{63.5 \times 5} = 3039.37 \text{ S}$$

$$t = 3039.37 \text{ S} \times \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ S}} \right)$$

$$t = 50.66 \text{ Min}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٢٩)**

في إحدى التجارب، وصل كولومتران (خليتان) على التوالي، إحداهما يحتوي محلول كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) والثاني يحوي ملحاً مجهولاً (X) وقد وجد أن (1.25 g) من النحاس قد تم الطلاء بها خلال نفس الفترة الزمنية التي استعمل فيها للطلاء 3.42 g من الفلز المجهول (X).

(أ) إذا كانت حالة التأكسد لأيون الفلز المجهول هي (+2) فاحسب الكتلة المولية (الوزن الجزيئي) للمجهول ( $A_{w_{\text{Cu}}} = 63.5$ )  
 (ب) كم مولاً من الإلكترونات مرت خلال هذا الكولومتر.

**الحل**

(أ) حساب الكتلة المولية للمجهول :

بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

$$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{X}}} = \frac{E_{w_{\text{Cu}}}}{E_{w_{\text{X}}}}$$

$$\frac{1.25}{3.42} = \frac{63.5/2}{E_{w_{\text{X}}}}$$

$$E_{w_{\text{X}}} = \frac{3.42(63.5/2)}{1.25}$$

$$E_{w_{\text{X}}} = 86.87$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

ولإيجاد الوزن المولي (الجزئي) من قيمة الوزن المكافئ :

$$Mw_x = Ew_x \times 2 = 86.87 \times 2 = 173.74 \text{ g/mol}$$

(ب) عدد مولات الإلكترونات التي مرت خلال هذا الكولومتر:

نحسب أولاً كمية الكهرباء (  $Q = I t$  ) التي مرت من قانون فاراداي الأول

باستخدام كتلة أحد العنصرين المترسبين وليكن النحاس :

$$m_{Cu} = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

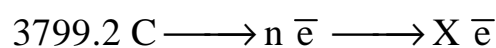
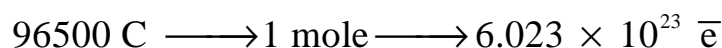
$$1.25 = \frac{63.5 \times (I \cdot t)}{2 \times 96500C}$$

$$I \cdot t = \frac{1.25 \times 2 \times 96500}{63.5}$$

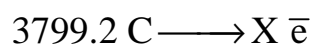
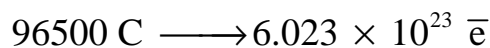
$$I \cdot t = 3799.2 \text{ C}$$

ومن المعلوم أن مرور (  $1 F = 96500 \text{ C}$  ) يعني مرور مول

واحد من الإلكترونات وهو يعادل عدد أفوجادرو من الإلكترونات :



**وبأخذ أحد العلاقتين :**



$$Xe = \frac{3799 \times 6.023 \times 10^{23}}{96500}$$

$$X\bar{e} = 2.37 \times 10^{22} \bar{e}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**مثال (٢٠-٣٠)**

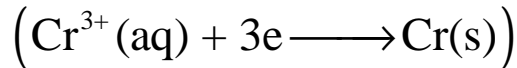
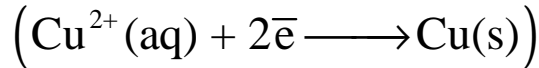
وصل كولومتران (خليتان) على التوالي بحيث يمر نفس التيار في كل منهما، وفي إحدى التجارب تم ترسيب (0.125 mol) من النحاس (Cu) من محلول كبريتات النحاس (CuSO<sub>4</sub>) في أحد الكولومترين.

كم مولاً من الكروم (Cr) رسبت في نفس الوقت من محلول كبريتات الكروم Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

علماً بأن الكتل الذرية (Aw<sub>Cu</sub> = 63.5, Aw<sub>Cr</sub> = 52).

**الحل**

معادلتا الترسيب هما :



أولاً : نوجد الأوزان المكافئة لكلا الفلزين :

$$Ew_{\text{Cu}} = \frac{Aw_{\text{Cu}}}{Z_{\text{Cu}}} = \frac{63.5}{2} = 31.75$$

$$Ew_{\text{Cr}} = \frac{Aw_{\text{Cr}}}{Z_{\text{Cr}}} = \frac{52}{3} = 17.33$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

ثانياً : نحول وزن مولات النحاس المترسبة الى وزن بالجرام

حيث :

$$m_{\text{Cu}} = n_{\text{Cu}} \times Aw_{\text{Cu}} = 0.125 \times 63.5 = 7.94 \text{ g}$$

ثالثاً : نوجد وزن الكروم المترسب من قانون فاراداي الثاني :

$$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{Cr}}} = \frac{Ew_{\text{Cu}}}{Ew_{\text{Cr}}}$$

$$\frac{7.94}{m_{\text{Cr}}} = \frac{31.75}{17.33}$$

$$m_{\text{Cr}} = \frac{7.94 \times 17.33}{31.75}$$

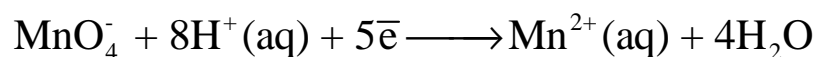
$$m_{\text{Cr}} = 4.3 \text{ g}$$

ثم نحول هذا الوزن للكروم الى مولات كما هو مطلوب في السؤال :

$$n_{\text{Cr}} = \frac{m_{\text{Cr}}}{Aw_{\text{Cr}}} = \frac{4.3}{52} = 0.083 \text{ mol}$$

## مثال (٢٠-٣١)

برمنجنات البوتاسيوم يتم اختزالها على الكاثود طبقاً للتفاعل التالي :



**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

احسب الزمن اللازم لاختزال (5.2 g) من البرمنجنات باستخدام تيار ثابت قدره (0.025 A) علماً بأن الوزن الجزيئي لبرمنجنات البوتاسيوم (158.0 g/mol).

**الحل**

$$m_{\text{MnO}_4^-} = \frac{Mw \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{\text{MnO}_4^-} = \frac{158 \times 0.025 \times t}{5 \times 96500}$$

$$m_{\text{MnO}_4^-} = 635 \text{ s}$$

**مثال (٢٠-٣٢)**

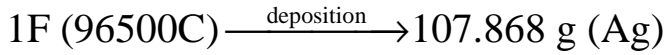
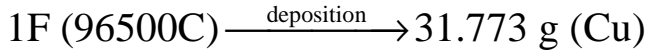
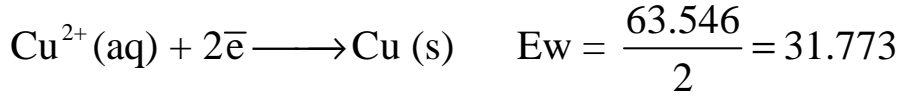
في خلية تحليل كهربائي لترسيب النحاس من كبريتات النحاس (CuSO<sub>4</sub>) ثم توصيلها على التوالي مع خلية أخرى لترسيب الفضة في محلول نترات الفضة (AgNO<sub>3</sub>)، كان وزن الكاثود في خلية الفضة أخف من كاثود خلية النحاس بمقدار (0.1 g). فإذا تم استخدام تيار ثابت مقداره (0.1 A)، ما الزمن اللازم لكي يصبح وزن كاثود الفضة يساوي وزن كاثود النحاس.

**الحل**

حيث أن كمية الكهرباء المارة في الخليتين واحدة، لذلك فإن مرور واحد فاراداي (96500 C) يرسب مكافئ جرامي واحد من النحاس (31.77 g) والفضة (107.88 g).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

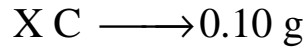
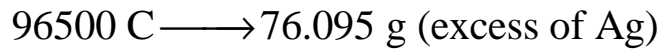
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



وبالتالي فإن وزن الفضة المترسب على كاثود الفضة يكون أكبر من وزن النحاس المترسب على كاثود النحاس بقيمة مقدارها :

$$107.868 - 31.773 = 76.095 \text{ g}$$

وبناءً على المعطى في المسألة من أن وزن كاثود النحاس يزيد عن وزن كاثود الفضة بمقدار (0.1 g)، ومن هنا فإنه لكي يساوي وزن كاثود الفضة وزن كاثود النحاس فلا بد له أن يزيد بمقدار (0.1 g) وبالتالي فإننا نحتاج إلى معرفة كمية الكهرباء (Q = It) اللازمة لإحداث ذلك.



$$X = \frac{0.10 \text{ g} \times 96500 \text{ C}}{76.095 \text{ g}}$$

$$X = 126.815 \text{ C}$$

وبالتالي لحساب الزمن اللازم لمرور هذه الكمية من الكهرباء نتبع العلاقة :

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$Q = I t$$

$$126.815 = 0.1 \times t$$

$$t = \frac{126.815}{0.1}$$

$$t = 1268.15 \text{ s}$$

إذاً الزمن اللازم لكي يكون وزن النحاس يساوي وزن كاثود الفضة

$$1268.15 \text{ s} =$$

**مثال (٢٠-٣٣)**

احسب الزمن اللازم لتحضير (47 L) من غاز الأكسجين مقاساً فوق سطح الماء عند ضغط مقداره (735 mmHg) ودرجة حرارة (35 °C). وذلك بالتحلل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس، علماً بأن التيار المار شدته تساوي (15.5 A)، وضغط بخار الماء عند درجة (35 °C) هو (42 mmHg).

**الحل**

أولاً نحسب ضغط الأكسجين النقي والذي يحسب من الفرق بين الضغط الكلي وضغط بخار الماء وفقاً لقانون دالتون للضغوط الجزئية.

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد / د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$P_t = P_{O_2} + P_{H_2O}$$

$$735 \text{ mmHg} = P_{O_2} + 42 \text{ mmHg}$$

$$P_{O_2} = (735 - 42) \text{ mmHg}$$

$$P_{O_2} = 693 \text{ mmHg}$$

ثانياً نحسب كمية الأكسجين المتجمعة فوق سطح الماء من قانون الغاز المثالي :

$$PV = n RT$$

$$\left( \frac{693 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mmHg atm}^{-1}} \right) \times 47 \text{ L} = n \times 0.0821 \text{ L.atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 308 \text{ K}$$

$$42.857 = n \times 25.287$$

$$n_{O_2} = \frac{42.857}{25.287}$$

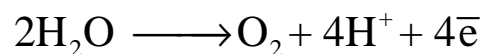
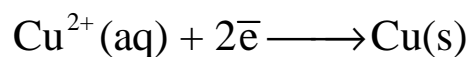
$$n_{O_2} = 1.695 \text{ mol}$$

$$m_{O_2} = n_{O_2} \text{ Mw}_{O_2}$$

$$m_{O_2} = 1.695 \times 32$$

$$m_{O_2} = 54.24 \text{ g}$$

ومن المعلوم أنه في حالة التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس فإنه تحدث التفاعلات التالية :



**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

فالماء هو الذي يتأكسد ليعطي الأكسجين (لأنه أسهل في أكسدته من أكسدة الكبريتات) ويلزم مرور أربعة مولات من إلكترونات الى القطب لكل مول من غاز الأكسجين.

وبتطبيق قانون فاراداي لمعرفة الزمن اللازم لتحرير (45.24 g)

من الأكسجين وفقاً للتفاعل :  $(2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-)$  :

$$m = \frac{\text{Mw. I. t}}{z \cdot F}$$

$$54.24 = \frac{32 \times 15.5 \times t}{4 \times 96500}$$

$$t = \frac{54.24 \times 4 \times 96500}{32 \times 15.5}$$

$$t = 42210.968 \text{ s}$$

$$t = 11.72 \text{ h}$$

**مثال (٢٠-٣٤)**

مرر تيار كهربائي على ثلاثة خلايا مربوطة على التوالي تحتوي على محاليل كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ )، نترات الفضة ( $\text{Ag}(\text{NO}_3)$ )، ويوديد البوتاسيوم ( $\text{KI}$ ). فما وزن الفضة واليود المتحررين (المترسبين) عند ترسيب (1.25 g) من النحاس.

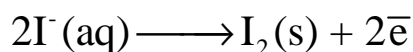
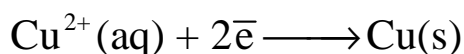
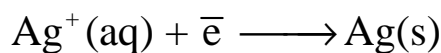
$$(\text{Aw}_{\text{Cu}} = 63.546, \text{Aw}_{\text{Ag}} = 107.868, \text{Aw}_{\text{I}} = 126.904)$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**الحل**

تفاعلات الترسيب هي على التالي :



وبتطبيق قانون فاراداي الثاني لإيجاد :

**أولاً : كمية الفضة :**

$$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{Ag}}} = \frac{Ew_{\text{Cu}}}{Ew_{\text{Ag}}}$$

$$\frac{1.25}{m_{\text{Ag}}} = \frac{(63.546/2)}{(107.868/1)}$$

$$m_{\text{Ag}} = 4.236 \text{ g}$$

**ثانياً : كمية اليود :**

$$(Aw_{\text{Cu}} = 63.546, Aw_{\text{Ag}} = 107.868, Aw_{\text{I}} = 126.904)$$

$$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_{\text{I}_2}} = \frac{Ew_{\text{Cu}}}{Ew_{\text{I}_2}}$$

$$\frac{1.25}{m_{\text{I}_2}} = \frac{(63.546/2)}{(126.904/2)}$$

$$m_{\text{I}_2} = 2.496 \text{ g}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٣٥)**

عند إمرار تيار قدره (2 A) لمدة (1000 S) خلال محلول كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) باستخدام قطب النحاس، فإن (0.658 g) من معدن النحاس يذوب عند الأنود ويترسب عند الكاثود. احسب الوزن عندما يمرر تيار مقداره (0.5 A) لمدة (1200 s).

**الحل**

$$\frac{m_{\text{Cu}_1}}{m_{\text{Cu}_2}} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\frac{m_{\text{Cu}_1}}{0.658} = \frac{0.5 \times 1200}{2 \times 1000}$$

$$m_{\text{Cu}_1} = \frac{0.658 \times 0.5 \times 1200}{2 \times 1000}$$

$$m_{\text{Cu}_1} = 0.1974 \text{ g}$$

**مثال (٢٠-٣٦)**

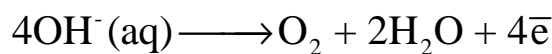
ما حجم الأكسجين المتحرر من محلول مائي (NaOH) من إمرار تيار مقداره (2 A) لمدة ساعة ونصف. علماً بأن درجة الحرارة هي (27 °C) والضغط هو (1 atm).

**الحل**

نحسب أولاً من خلال قانون فاراداي الأول كمية الأكسجين المتحررة :

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



$$m_{\text{O}_2} = \frac{M_w \times I \times t}{z \times F}$$

$$m_{\text{O}_2} = \frac{32 \times 2 \times 1.5 \times 3600}{4 \times 96500}$$

$$m_{\text{O}_2} = 0.895 \text{ g}$$

$$n_{\text{O}_2} = \frac{0.895 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$n_{\text{O}_2} = 0.0280 \text{ mol}$$

ولحساب حجم غاز الأوكسجين نطبق معادلة الغاز المثالي :

$$PV = n R T$$

$$V = \frac{n R T}{P}$$

$$V = \frac{0.0280 \times 0.0821 \times 300}{1}$$

$$V = 0.6896 \text{ L}$$

$$V = 689.6 \text{ ml}$$

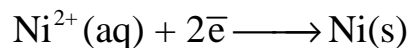
**مثال (٢٠-٣٧)**

تم استعمال قطبين من البلاتين في عملية التحلل الكهربائي لمحلول نترات النيكل  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  وكان التيار المستعمل (5 A) واستمر إمراره مدة (30 Min.) . ما وزن النيكل الذي ينتج عند القطب السالب (الكتلة الذرية للنيكل = 58.69)

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل



$$m_{\text{Ni}} = \frac{Aw \times I \times t}{z \times F}$$

$$m_{\text{Ni}} = \frac{58.69 \times 5 \times 30 \times 60}{2 \times 96500}$$

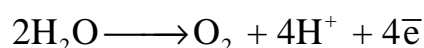
$$m_{\text{Ni}} = 2.74 \text{ g}$$

## مثال (٢٠-٣٨)

استعمل تيار مقداره (3.5 A) في التحليل الكهربائي لحامض الكبريتيك. ما الفترة الزمنية اللازمة لتحرير (5 g) من الأكسجين عند القطب الموجب؟

## الحل

تفاعل تحرير الأكسجين عند القطب الموجب عبارة عن أكسدة الماء :



$$m_{\text{O}_2} = \frac{Mw \times I \times t}{z \times F}$$

$$5 = \frac{32 \times 3.5 \times t}{4 \times 96500}$$

$$t = \frac{5 \times 4 \times 96500}{32 \times 3.5}$$

$$t = 17232.14 \text{ s}$$

$$t = 17232.14 \text{ s}$$

$$t = 287.20 \text{ min.}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-٣٩)

في خلية تحليل كهربائي، احسب كم جراماً من Cu تترسب من محلول  $\text{CuSO}_4$  بإمرار تيار مقداره (1.5 A) لمدة ساعتين.

## الحل

الجواب : 3.6 g

## مثال (٢٠-٤٠)

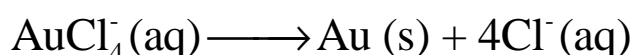
كم من الوقت يلزم لإنتاج (25.0 g) من Cr من محلول ( $\text{CrCl}_3$ ) بإمرار تيار كهربائي مقداره (2.75 A)؟

## الحل

الجواب : 14 h

## مثال (٢٠-٤١)

مرر تيار ثابت الشدة في محلول يحتوي على أيونات كلوريد الذهب ( $\text{AuCl}_4^-$ ) بين قطبين من معدن الذهب، وبعد مدة عشرة دقائق زاد وزن الكاثود بمقدار (1.314 g). معادلة تفاعل الإختزال عند الكاثود :



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

احسب :

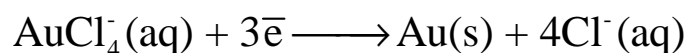
أ) كمية الشحنة (كمية الكهرباء) المارة في المحلول

ب) شدة التيار المار.

**الحل**

أ) لحساب كمية الكهرباء المارة في المحلول نتبع قانون فاراداي

الأول :



$$m_{\text{Au}} = \frac{A_w \times Q}{z \times F}$$

$$1.314 = \frac{196.9665 \times Q}{3 \times 96500}$$

$$Q = \frac{1.314 \times 3 \times 96500}{196.9665}$$

$$Q = 1931.310 \text{ C}$$

ب) لحساب شدة التيار المار في الخلية :

$$Q = I \cdot t$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

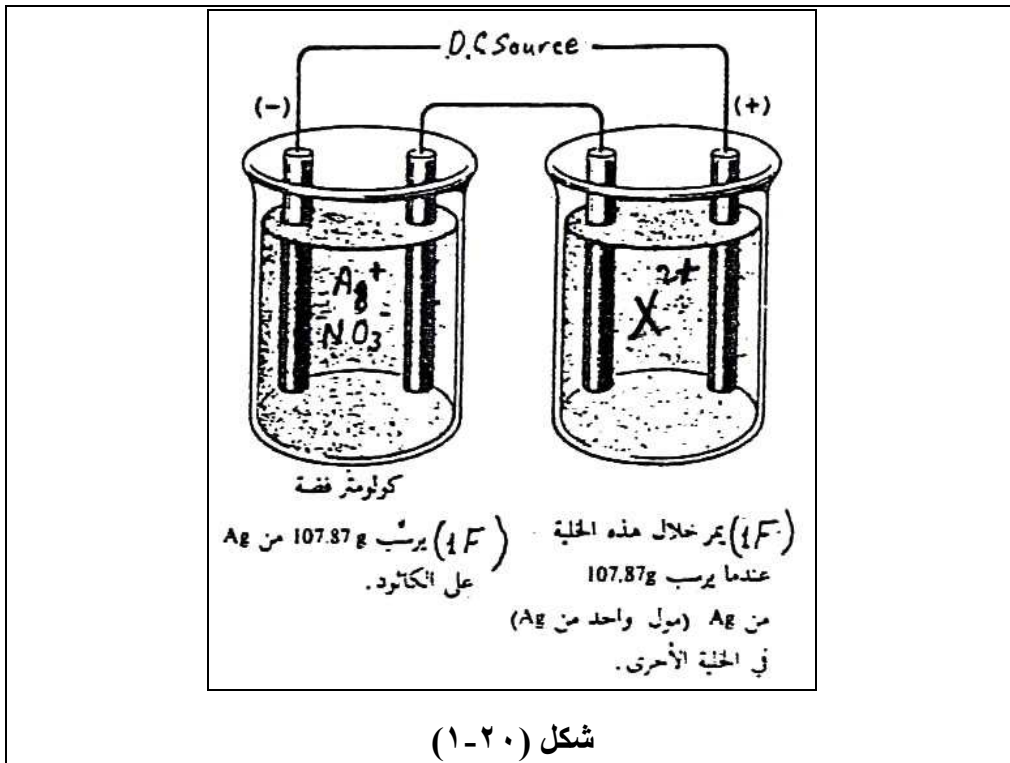
$$I = \frac{1930}{10 \times 60} = 3.22 \text{ A}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## مثال (٢٠-٤٢)

في الشكل (١-٢٠) الخلية اليسرى تحتوي على أيونات الفضة ( $Ag^+$ )، والخلية اليمنى على محلول يحتوي على أيونات ( $X^{2+}$ ) لفلز مجهول ( $X$ ). مرر نفس لتيار خلال كل من الخليتين لنفس الفترة من الوقت. وعندما قطع التيار وغسلت الأقطاب، وجففت، ووزنت وجد أنه قد ترسب ( $3.5\text{ g}$ ) من الفضة، خلال الفترة الزمنية التي يترسب فيها ( $2.5\text{ g}$ ) من العنصر ( $X$ ). فما هي الكتلة المولارية للعنصر  $X$ ؟



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

نحسب الوزن المكافئ للعنصر المترسب (X) بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

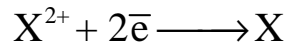
$$\frac{m_{Ag}}{m_X} = \frac{Ew_{Ag}}{Ew_X}$$

$$\frac{3.5}{2.50} = \frac{107.868}{Ew_X}$$

$$Ew_X = \frac{2.50 \times 107.868}{3.5}$$

$$Ew_X = 77.05$$

ونظراً لأن تفاعل اختزال العنصر (X) :



فإنه يمكن معرفة الوزن الذري للعنصر (X) من العلاقة :

$$Ew_X = \frac{Aw_X}{z}$$

$$Aw_X = Ew_X \times z$$

$$Aw_X = 77.05 \times 2$$

$$Aw_X = 154.1$$

## مثال (٢٠-٤٣)

احسب المكافئ الكيميائي الكهربائي لفلز ما من المعلومات التالية :

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

عند إمرار تيار شدته (0.36 A) لمدة ثلاث ساعات، وجد أن وزن الفلز المترسب يساوي (1.308 g).

**الحل**

يمكن حساب قيمة المكافئ الكيميائي الكهربائي من العلاقة التالية :

$$m = K \cdot I \cdot t$$

$$K = \frac{m}{I \cdot t}$$

$$K = \frac{1.308}{0.36 \times 3 \times 60 \times 60}$$

$$K = 3.36 \times 10^{-4} \text{ g/A. s}$$

$$K = 3.36 \times 10^{-4} \text{ g/C}$$

**مثال (٢٠-٤٤)**

في عملية التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) باستخدام أقطاب من النحاس لوحظ أن المهبط ازداد وزنه بمقدار (0.5 g)، فإذا أعيد التحليل لنفس الوقت المستخدم في التجربة السابقة مع مضاعفة شدة التيار.

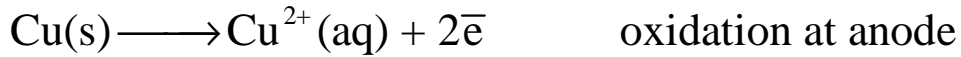
إحسب أقل وزن للأنود يجب أن يكون أثناء حدوث العملية الثانية على فرض أنه لم يحدث أي تغيير في تركيز محلول كبريتات النحاس خلال عملية التحليل.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

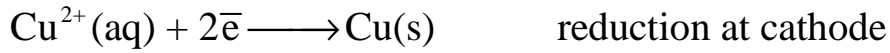
**الحل**

من المسألة فإن تركيز أيونات النحاس في المحلول ثابتاً أثناء عملية التحليل الكهربائي، والذي يحدث هو أكسدة المصعد :



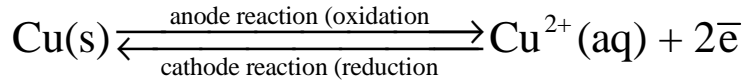
حيث تتحول ذرات النحاس إلى أيونات موجبة التكهرب (لذلك فمادة المصعد بسبب الأكسدة تتآكل).

وعند المهبط يحدث اختزال الأيونات الناتجة عن تأكسد المصعد :



لذلك تترسب أيونات النحاس على المهبط فيزداد وزنه.

ويمكن دمج التفاعلين في معادلة واحدة :



ومن المسألة فلو كان ما ترسب من ذرات النحاس في الحالة الأولى على المهبط جعل وزنه يزداد بمقدار (0.5 g)، فإن ذلك يعني أن المصعد قد نقص وزنه (0.5 g) وذلك على أساس أنه لم نستمد أيونات من أيونات النحاس الموجودة في المحلول لأن تركيز المحلول ثابت في كل حالة.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

وفي عملية التحليل الثانية تضاعفت شدة التيار واستخدم لنفس الزمن وبالتالي فإن كمية الكهرباء المارة في المحلول هذه المرة تكون ضعف كمية الكهرباء التي مرت في المحلول في الحالة الأولى.

وبما أن هناك تناسب طردي بين كمية الكهرباء ووزن المادة المترسبة، وفقاً لقانون فاراداي، فإن وزن النحاس المترسب هذه المرة يجب أن يتضاعف أيضاً وسيبلغ وزنه (1 g).

وبالتالي فإن وزن المصعد الذي يجب استخدامه لتحقيق هذا الوزن المترسب يجب أن لا يقل عن (1 g) حتى لا يترسب النحاس من كبريتات النحاس نفسها ويظل تركيزها ثابتاً.

**مثال (٢٠-٤٥)**

حدد كميّاً وكيفياً التغيرات الكيميائية التي تحدث عند الكاثود والأنود عندما يمرر تيار كهربائي شدته (1 A) لمدة (20 min.) خلال المحاليل التالية :

(أ)

Cathode	Graphite
Anode	Pt
Solution	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

(ب)

Cathode	Mercury, Hg
Anode	Zn
Solution	ZnCl <sub>2</sub>

(ج)

Cathode	Ag
Anode	Ag
Solution	FeCl <sub>3</sub>

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**الحل****أولاً : الحساب الكمي**

وزن المادة المترسبة أو المذابة ستختلف من حالة لحالة وذلك لاختلاف الوزن المكافئ للمواد التي سيجري عليها التحليل الكهربائي من الحالة (أ)، للحالة (ب) للحالة (ج). ولكن عدد الجرامات المكافئة المتولدة في كل حالة كمية ثابتة (لثبوت كمية التيار المار) وتساوي عددياً الآتي :

$$1 \text{ g. eq} \longrightarrow 96500 \text{ C}$$

$$x \longrightarrow 1 \times 20 \times 60 \text{ coul.}$$

كل واحد فاراداي (96500 C) من الكهرباء عندما تمر خلال المحلول فإنها ترسب أو تذيب عدد مقداره واحد جرام مكافئ. وبالتالي فإن كمية الكهرباء :

$$Q = I \cdot t = 1 \times 20 \times 60 = 1200 \text{ C}$$

ومن العلاقة :

$$1 \text{ g. eq} \longrightarrow 96500 \text{ C}$$

$$x \longrightarrow 1 \times 20 \times 60 \text{ coul.}$$

فإن قيمة (x) :

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

$$x = \frac{1 \times 20 \times 60}{96500} = 0.01243 \text{ g.eq}$$

وبالتالي فإن وزن المادة المترسبة =

عدد الجرامات المكافئة المترسبة  $\times$  الوزن المكافئ

$$0.01243 \times \text{الوزن المكافئ}$$

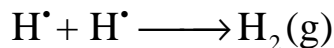
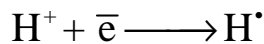
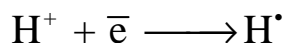
**ثانياً : الحساب الكيفي :****في الحالة (أ) :**

Cathode	Graphite
Anode	Pt
Solution	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

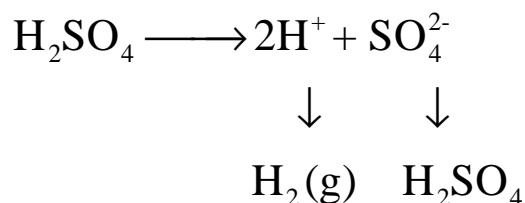
يتأين حمض الكبريتيك إلى أيونات هيدروجين (H<sup>+</sup>) موجبة التكهرب وأيونات الكبريتات سالبة التكهرب (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) وعند مرور التيار الكهربائي تتجه الأيونات الهيدروجينية موجبة التكهرب نحو القطب السالب، وهناك تتعادل كهربائياً وتتحول من أيونات موجبة التكهرب إلى ذرات هيدروجينية متعادلة، ويتبع ذلك اتحاد كل ذرتين من ذرات الهيدروجين لتكوين جزيئات الهيدروجين الثنائية الذرات وتتصاعد هذه الجزيئات من المحلول عند القطب السالب أي بجوار قطب الجرافيت، لأنه ليس هناك أي ميل لاتحاد الهيدروجين مع الجرافيت

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي



أما مجموعة الكبريتات سالبة التكهرب- فإنها تتجه نحو المصعد وهناك تتعادل كهربائياً وتتحول من أيون سالب التكهرب إلى مجموعة ذرية متعادلة، هذه المجموعة الذرية المتعادلة لا تقوى على أن تبقى على حالة انفراد ولذلك تحاول أن تهاجم مادة المصعد، ونظراً لأن المصعد في هذه الحالة من البلاتين فإنه لا يتأثر، ولذلك تتفاعل مجموعة الكبريتات مع الماء لتنتزع منها الهيدروجين مكونة من جديد حامض الكبريتيك - بينما يتصاعد الأكسجين من الماء عند المصعد :



ومن هنا يتضح أن العملية ولو أنها ظاهرياً تحليل كهربائي لحامض الكبريتيك إلا أن ما تحلل حقيقةً هو الماء.

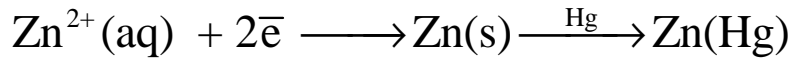
**ب) الحالة الثانية :**

Cathode	Mercury, Hg
Anode	Zn
Solution	ZnCl <sub>2</sub>

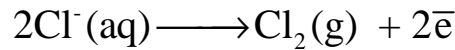
**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

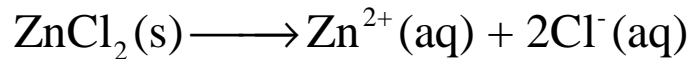
في هذه الحالة نجد أن كلوريد الزنك ( $ZnCl_2$ ) عندما يتأين ينتج أيونات الزنك موجبة التكهرب ( $Zn^{2+}$ ) وأيونات الكلور سالبة التكهرب ( $Cl^-$ )، وأيونات الزنك تتجه ناحية المهبط وتتعاذل وتحول إلى فلز الزنك الذي يذوب في زئبق المهبط مكوناً مملغم الزنك مع الزئبق :



أما أيونات الكلور فإنها تتجه نحو المصعد وهناك تتعاذل وتحول لغاز الكلور:



ويهاجم غاز الكلور مادة المصعد وهي الزنك مكوناً كلوريد الزنك من جديد وتكرر العملية حتى يستهلك الزنك وتصبح العملية ككل هي عملية انتقال لذرات الزنك من المصعد للمهبط.

**ج) الحالة الثالثة :**

Cathode	Ag
Anode	Ag
Solution	FeCl <sub>3</sub>

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

عند المصعد يتولد الكلور الذي يتفاعل مع الفضة مكوناً كلوريد الفضة (راسب أبيض غير قابل للذوبان في الماء ولا يعوق مرور التيار الكهربائي) بينما نجد عند المهبط يترسب الحديد على الفضة.

**مثال (٢٠-٤٦)**

وضعت خلية للتحليل الكهربائي لترسيب النحاس (Cu) من كبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) على التوالي مع خلية أخرى لترسيب الفضة (Ag) من نترات الفضة ( $\text{AgNO}_3$ ) وكان المهبط في خلية الفضة أقل وزناً من المهبط في حالة خلية ترسيب النحاس بمقدار (0.1 g)، فإذا كان هذا التحليل الكهربائي يجري تحت تأثير تيار ثابت مقداره (0.1 A)، فما هو الزمن اللازم حتى يتساوى وزن المهبطين في الخليتين؟

علماً بأن الوزن المكافئ للنحاس هو (31.77 g)، بينما الوزن المكافئ للفضة هو (107.87 g).

**الحل**

يمكن حل هذه المسألة بطريقتين :

**طريقة الحل الأولى :**

عندما يمر واحد فاراداي (96500 C) فإنه يسبب ترسب الوزن المكافئ للفضة (107.87 g)، من ناحية أخرى فإن مرور واحد

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزالي

فاراداي يسبب أيضاً ترسب الوزن المكافئ للنحاس أي (31.77 g)،  
وبعد مرور هذه الكمية من الكهرباء يصبح الفرق بين وزن مهبط  
الفضة ومهبط النحاس مساوياً لـ :

$$\text{eq.wt of Ag} - \text{eq.wt. of Cu}$$

$$107.87 - 31.77 = 76.10 \text{ g}$$

وبالتالي فإن :

$$96500 \text{ C} \longrightarrow 76.10\text{g}$$

$$x \longrightarrow 0.1\text{g}$$

$$x = \frac{0.1 \times 96500}{76.10}$$

$$x = 126.81 \text{ C}$$

وبالتالي لحساب الزمن اللازم لجعل الفرق بين وزني المهبطين  
(0.1 g) عند مرور كمية من الكهرباء مقدارها (126.81 C) :

$$Q = I \cdot t$$

$$t = \frac{Q}{I}$$

$$t = \frac{126.81 \text{ A} \cdot \text{s}}{0.1 \text{ A}}$$

$$t = 1268.1 \text{ s}$$

$$t = 21.135 \text{ min.}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## طريقة الحل الثانية :

$$W_{Ag} = \frac{Ew_{Ag} \cdot I \cdot t}{F}$$

$$\Rightarrow W_{Ag} = \frac{107.87 \times 0.1 \times t}{96500}$$

$$W_{Cu} = (W_{Ag} + 0.1) = \frac{Ew_{Cu} \times 0.1 \times t}{96500}$$

$$W_{Cu} = \left( \frac{Ew_{Ag} \cdot I \cdot t}{F} + 0.1 \right) = \frac{Ew_{Cu} \times 0.1 \times t}{96500}$$

$$\Rightarrow W_{Cu} = \frac{107.87 \times 0.1 \times t}{96500} + 0.1 = \frac{31.77 \times 0.1 \times t}{96500}$$

ومن العلاقة الأخيرة  $\left( \frac{107.87 \times 0.1 \times t}{96500} + 0.1 = \frac{31.77 \times 0.1 \times t}{96500} \right)$

يمكن حساب الزمن (t) كما يلي :

$$\frac{107.87 \times 0.1 \times t}{96500} + 0.1 = \frac{31.77 \times 0.1 \times t}{96500}$$

$$\left( \frac{107.87 \times 0.1 \times t}{96500} \right) + 0.1 = \frac{31.77 \times 0.1 \times t}{96500}$$

$$(1.118 \times 10^{-4} t) + 0.1 = 3.29 \times 10^{-5} t$$

$$(1.118 \times 10^{-4} t) - (3.29 \times 10^{-5} t) = -0.1$$

$$7.89 \times 10^{-5} t = -0.1$$

$$t = \frac{0.1}{7.89 \times 10^{-5}}$$

$$t = 1267.43s$$

$$t = 21.12 \text{ min}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## بعض الوحدات المستخدمة في الكيمياء الكهربائية

كمية الكهرباء = شدة التيار × الزمن

Quantity of electricity = current strength × time

Quantity of electricity = I × t

Quantity of electricity = ampere × second = coulomb (C)

الشغل الكهربائي = كمية الكهرباء × القوة الدافعة الكهربائية

Electrical work (E.W) = quantity of electricity × Electro  
Motive Force (E. M. F)

Electrical work (E.W) = I . t . E

Electrical work (E.W) = ampere . second . volt

Electrical work (E.W) = coulomb . volt = Joule (J)

Electrical work (E.W) =

الطاقة = الشغل الكهربائي / الزمن

Power =  $\frac{\text{Work}}{\text{time}}$ Power =  $\frac{I . t . v}{t}$ Power =  $\frac{\text{Joule (J)}}{\text{second (s)}}$ 

Power = watt

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$\text{Ampere} = \frac{\text{volt}}{\text{Ohm}}$$

$$\text{K.Watt} = 1000 \text{ Watt}$$

$$\text{Watt hour} = 3600 \text{ Watt second} = 3600 \text{ Joule}$$

$$\text{H. P.} = 746 \text{ Watt} = 0.746 \text{ K.W}$$

$$1 \text{ Joule} = 0.238 \text{ calories}$$

$$1 \text{ Calorie} = 4.184 \text{ Joule}$$

$$1 \text{ K calorie} = 4183 \text{ Joules}$$

**الفولت**

عبارة عن فرق الجهد اللازم لإمرار تيار مقداره واحد أمبير خلال مقاومة مقدارها واحد أوم

**كفاءة التيار**

هي النسبة بين كمية التيار المستخدمة فعلاً في التغيير الكيميائي على كمية التيار المارة في المحلول.

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-٤٧)

احسب شدة التيار اللازم لترسيب وزن مقداره (63.32 g) من الفضة في زمن قدره (90 min.).

## الحل

بتطبيق قانون فاراداي :

$$m = \frac{E_w \cdot I \cdot t}{F}$$

$$I = \frac{m \cdot F}{E_w \cdot t}$$

$$I = \frac{63.32 \times 96500}{107.87 \times 90 \times 60}$$

$$I = 12 \text{ A} \quad (\text{A : ampere})$$

## مثال (٢٠-٤٨)

ما حجم الهيدروجين مقاساً عند (25 °C) وضغط مقداره (740 mmHg) الذي يتولد أثناء التحلل الكهربائي للماء بتيار شدته (10 A) لزمن قدره (0.5 h).

## الحل

بتطبيق قانون فاراداي نوجد وزن الهيدروجين المتحرر :

$$m = \frac{M_w \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m = \frac{2 \times 10 \times 0.5 \times 60 \times 60}{2 \times 96500}$$

$$m = 0.186 \text{ g}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

وبتطبيق القانون العام للغازات المثالية نوجد حجم الغاز كما يلي :

$$P V = n R T$$

$$\frac{740}{760} \times V = \frac{0.186}{2} \times 0.0821 \times 298$$

$$V = \frac{\frac{0.186}{2} \times 0.0821 \times 298}{\left(\frac{740}{760}\right)}$$

$$V = 2.34 \text{ L}$$

$$V = 2340$$

**طريقة أخرى للحل**

ويمكن حل المسألة بطريقة أخرى ومن معرفة أن حجم المول للغاز عند الظروف القياسية (760 mmHg, 273 K) يساوي (22400 cm<sup>3</sup>) وبالتالي فإن حجم المول من غاز الهيدروجين عند (740 mmHg, 298 K) :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{760 \times 22400}{273} = \frac{740 \times V_2}{298}$$

$$V_2 = \frac{760 \times 22400 \times 298}{273 \times 740}$$

$$V_2 = 25112.13 \text{ cm}^3$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وهذا هو حجم مول واحد من غاز الهيدروجين عند الظروف (740 mmHg, 298) وبالتالي فإن حجم (0.186 mol) من الغاز :

$$1 \text{ mol of H}_2 \text{ (at 740 mmHg, 298 K)} \longrightarrow 25112.13 \text{ cm}^3$$

$$\frac{0.186}{2} \text{ mol of H}_2 \text{ (at 740 mmHg, 298 K)} \longrightarrow x$$

$$x = (25112.13 \text{ cm}^3/\text{mol}) \times \left( \frac{0.186 \text{ mol}}{2} \right)$$

$$x = 2335.43 \text{ cm}^3$$

وهي قريبة من النتيجة السابقة .

**مثال (٢٠-٤٩)**

إذا كان الوزن المكافئ للذهب هو (65.7). احسب كمية الذهب التي يمكن أن تترسب من محلول كلوريد الذهب بنفس كمية الكهرباء اللازمة لتوليد (200 cm<sup>3</sup>) من الهيدروجين عند (15 °C) وضغط مقداره (740 mmHg) وذلك عند تحليل ماء محمض.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**الحل**

نوجد حجم غاز الهيدروجين المتولد من عملية التحليل الكهربائي للماء المحمض بإحدى طريقتين :

**الطريقة الأولى :**

بتطبيق القانون العام للغازات المثالية يمكن حساب عدد مولات الهيدروجين المتحررة كما يلي :

$$PV = n R T$$

$$\left( \frac{740 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg/atm}} \right) \times \left( \frac{200 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3/\text{L}} \right) = n \times 0.0821 \text{ (L. atm/mol K)} \times (15 + 273) \text{ K}$$

$$n = \frac{\left( \frac{740}{760} \right) \times \left( \frac{200}{1000} \right)}{0.0821 \times (15 + 273)}$$

$$n = 8.24 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2} \times M_{\text{w}_{\text{H}_2}}$$

$$m_{\text{H}_2} = 8.24 \times 10^{-3} \times 2$$

$$m_{\text{H}_2} = 0.01648 \text{ g}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وبما أنه مرت نفس الكمية من الكهرباء فإن :

$$m_{H_2} = \frac{Ew_{H_2} \times I \times t}{F}$$

$$m_{Au} = \frac{Ew_{Au} \times I \times t}{F}$$

$$\frac{m_{H_2}}{m_{Au}} = \frac{\frac{Ew_{H_2} \times I \times t}{F}}{\frac{Ew_{Au} \times I \times t}{F}} \Rightarrow \frac{m_{H_2}}{m_{Au}} = \frac{Ew_{H_2}}{Ew_{Au}}$$

$$\frac{0.01648}{m_{Au}} = \frac{1}{65.7}$$

$$m_{Au} = (0.01648) \times (65.7) = 1.083 \text{ g}$$

## مثال (٢٠-٥٠)

احسب الزمن اللازم لطلاء مسطح مساحته  $(25 \text{ cm}^2)$  بطبقة من فلز النحاس سمكها  $(0.1 \text{ mm})$  باستخدام تيار شدته  $(1.5 \text{ A})$ ، علماً بأن كثافة النحاس  $(d = 8.96 \text{ g/cm}^3)$  وأن الوزن الذري له  $(63.5)$ .

## الحل

نحسب أولاً سمك النحاس المترسب :

$$0.01 \text{ cm} = \frac{0.1}{10} = \text{سمك النحاس المترسب (الإرتفاع)}$$

حجم النحاس المترسب = المساحة × الإرتفاع

$$\text{Volume of deposited copper} = 0.01 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ cm}^3$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وزن النحاس المترسب = الحجم × الكثافة

$$\text{Weight of deposited copper} = d \times V$$

$$\text{Weight of deposited copper} = 8.96 \text{ g cm}^{-3} \times 0.25 \text{ cm}^3$$

$$\text{Weight of deposited copper} = 2.24 \text{ g}$$

وبتطبيق قانون فاراداي يمكن حساب الزمن اللازم لطلاء كما يلي :

$$m = \frac{I \cdot t \cdot A}{z F}$$

$$2.24 = \frac{1.5 \times t \times 63.5}{2 \times 96500}$$

$$t = \frac{2.24 \times 2 \times 96500}{1.5 \times 63.5}$$

$$t = 4538.793 \text{ s}$$

$$t = 75.650 \text{ min}$$

## مثال (٢٠-٥١)

في عملية تحليل كهربائي لمحلول يحتوي على أيونات النحاسيك ( $\text{Cu}^{2+}$ ) والنيكل ( $\text{Ni}^{2+}$ ) والزنك ( $\text{Zn}^{2+}$ ) وجد أن وزن الفلز المترسب على المهبط هو (0.175 g) وكانت المادة المترسبة تتكون من (72.8 % نحاس، (4.3 % نيكل، (22.9 % زنك. احسب كمية الكهرباء (Q) المارة خلال المحلول بفرض أن كفاءة التيار تساوي (100 %). ثم احسب زمن التيار إذا كانت شدة التيار المستخدم يساوي 5 A

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

## أولاً : حساب وزن الفلز المترسب

يمكن حساب وزن (Cu, Ni, Zn) المترسب من النسبة المئوية كما يلي :

$$m_M = \frac{\% \times m_t}{100}$$

حيث أن :

$(m_M)$  : يعني وزن المعدن

$(m_t)$  : يعني الوزن الكلي للراسب وبالتالي وبناءً على هذه العلاقة

فإن وزن كل فلز مترسب يكون كما يلي :

$$m_{Cu} = \frac{72.8 \times 0.175}{100} = 0.1274g$$

$$m_{Ni} = \frac{4.3 \times 0.175}{100} = 0.0075 g$$

$$m_{Zn} = \frac{4.3 \times 0.175}{100} = 0.0075 g$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## ثانياً : حساب عدد الجرامات المكافئة من الفلز المترسب

عدد الجرامات المكافئة من النحاس المترسب :

$$Eq = \frac{\text{Weight of deposited Cu}}{\text{Equivalent Weight of Cu}}$$

$$Eq_{Cu} = \frac{0.127}{\left(\frac{63.5}{2}\right)} = 0.004$$

$$Eq_{Ni} = \frac{0.0075}{\left(\frac{58.69}{2}\right)} = 2.56 \times 10^{-4}$$

$$Eq_{Zn} = \frac{0.0401}{\left(\frac{63.5}{2}\right)} = 1.3 \times 10^{-3}$$

ولحساب كمية الكهرباء (Q) اللازمة لترسب (0.175 g) من الفلز الخليط، فإننا نحسب كمية الكهرباء اللازمة لترسيب كل فلز (Cu, Ni, Zn) ثم نجمع تلك القيم :

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$W = \frac{A_w \cdot Q}{Z F}$$

$$Q_{Cu} = \frac{W_{Cu} \cdot Z \cdot F}{A_{w_{Cu}}} \Rightarrow Q_{Cu} = \frac{0.1274 \times 2 \times 96500}{63.5}$$

$$Q_{Cu} = 387.216 \text{ C}$$

$$Q_{Ni} = \frac{W_{Ni} \cdot Z \cdot F}{A_{w_{Ni}}} \Rightarrow Q_{Ni} = \frac{0.0075 \times 2 \times 96500}{58.69}$$

$$Q_{Ni} = 24.66 \text{ C}$$

$$Q_{Zn} = \frac{W_{Zn} \cdot Z \cdot F}{A_{w_{Zn}}} \Rightarrow Q_{Zn} = \frac{0.04010 \times 2 \times 96500}{65.39}$$

$$Q_{Zn} = 118.356$$

$$Q = Q_{Cu} + Q_{Ni} + Q_{Zn}$$

$$Q = 387.216 \text{ C} + 24.66 \text{ C} + 118.356$$

$$Q = 530.232 \text{ C}$$

وبالتالي لحساب الزمن اللازم فإن :

$$Q = I \cdot t$$

$$t = \frac{Q}{I}$$

$$t = \frac{530.232}{5}$$

$$t = 106 \text{ s}$$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٥٢)**

مرر تيار ثابت في الكولوميتر الغازي لمدة ساعة و 25 دقيقة ، 30 ثانية فوجد أنه نتج (47.52 cm<sup>3</sup>) من خليط الهيدروجين والأكسجين عند درجة حرارة (20 °C) وتحت الضغط الجوي، فإذا كان ضغط بخار الماء المشبع عند (20 °C) هو (17.6 mmHg) إحسب شدة التيار المار في الخلية.

**الحل**

بتطبيق المعادلة العامة للغازات :

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{(760 - 17.6) \times 47.52}{(20 + 273)} = \frac{760 \times V_2}{(0 + 273)}$$

$$\frac{742.4 \times 47.52}{293} = \frac{760 \times V_2}{273}$$

$$V_2 = \frac{742.4 \times 47.52 \times 273}{293 \times 760}$$

$$V_2 = 43.2510 \text{ cm}^3$$

ولكن في حالة الكولوميتر الغازي تم إثبات أن كل واحد كولوم من الكهرباء يتسبب في توليد (0.174 cm<sup>3</sup>) من خليط الهيدروجين والأكسجين في معدل الضغط ودرجة الحرارة.

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وبالتالي فإن كمية الكهرباء اللازمة لتحرير (43.2510 cm<sup>3</sup>) من خليط الغاز يحسب كما يلي :

$$0.174 \text{ cm}^3 \longrightarrow 1 \text{ C}$$

$$43.2510 \text{ cm}^3 \longrightarrow X$$

$$X = \frac{43.2510 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ C}}{0.174 \text{ cm}^3}$$

$$X = 248.570 \text{ C}$$

**مثال (٢٠-٥٣)**

مرر تيار ثابت في كولوميتر اليود لمدة ساعة، (10) دقائق، (17) ثانية، فوجد أن كمية اليود المتولدة عند المصعد تحتاج لإكمال التعادل إلى (41.35 cm<sup>3</sup>) من محلول ثيوكبريتات الصوديوم (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) الذي عياريته (0.1074 N). احسب شدة التيار المار خلال الكولوميتر.

**الحل**

<b>الجواب : I = 0.0975 Ampere</b>
-----------------------------------

**مثال (٢٠-٥٤)**

أثناء مرور التيار الكهربائي في محلول لكبريتات الصوديوم بين مصعد من البلاتين ومهبط من الزئبق لمدة من الزمن وجد أنه قد

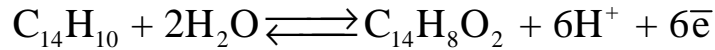
**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

تصاعد (11.2 cm<sup>3</sup>) من الأكسجين الجاف في معدل الضغط ودرجة الحرارة عند المصعد، بينما كون الصوديوم المتولد عند المهبط مع الزئبق مملغم للصوديوم مع الزئبق، فإذا رفع هذا المملغم وتمت معالجته بالماء. إحسب كمية حامض الهيدروكلوريك HCl ( ذي التركيز (0.1 N) اللازم لمعادلة الصودا الكاوية (NaOH) الناتجة.

**الحل**
**الجواب : V = 20 ml of (HCl) acid**
**مثال (٢٠-٥٥)**

بتأكسد الأنتراسين مصعدياً إلى أنثراكينون وفقاً للمعادلة التالية :



إحسب وزن الأنثراكينون الذي سوف يتولد بإمرار تيار شدته (1.5 A) لمدة (4 h).

**الحل**
**الجواب : الوزن (7.77 g)**

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**مثال (٢٠-٥٦)**

مرر تيار ثابت في محلول لخلات الصوديوم لمدة (4 h) فنتج خليط من غاز الإيثان وثاني أكسيد الكربون عند المصعد البلاتيني وترسب الصوديوم في المهبط المكون من الزئبق مكوناً مملغماً مع الزئبق، فإذا أخذ هذا المملغم وتفاعل كلية مع الماء فوجد أن الهيدروجين الناتج يشغل حجماً مقداره ( $156.8 \text{ cm}^3$ ) في معدل الضغط ودرجة الحرارة.

إحسب :

أ) شدة التيار المار في المحلول.

ب) كمية الإيثان المتولدة.

ج) إحسب حجم الصودات الكاوية (N 0.5) اللازمة لتحويل ( $\text{CO}_2$ ) الناتج من التحليل إلى بيكربونات الصوديوم .**الحل**

أ) شدة التيار المار في المحلول = (0.1 A)

ب) كمية الإيثان المتولدة = (0.1568 L)

ج) حجم الصودات الكاوية (N 0.5) اللازمة لتحويل ( $\text{CO}_2$ )الناتج من التحليل إلى بيكربونات الصوديوم = ( $28 \text{ cm}^3$ ).

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٥٧)**

مرر تيار شدته (1.5 A) في محلول لكلوريد النحاس الثنائي ولمدة ساعة. فإذا كان وزن النحاس المترسب (1.778 g) فما الوزن المكافئ للنحاس؟

**الحل**

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m = \frac{Aw \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$m = \frac{Ew_{Cu} \cdot I \cdot t}{F}$$

$$Ew_{Cu} = \frac{m \cdot F}{I \cdot t}$$

$$Ew_{Cu} = \frac{1.778 \times 96500}{1.5 \times 60 \times 60}$$

$$Ew_{Cu} = 31.77 \text{ g/Eq}$$

**مثال (٢٠-٥٨)**

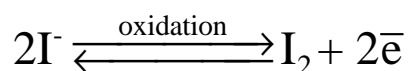
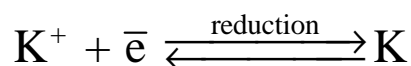
إذا مرر تيار كهربائي شدته (10.4 A) لمدة (23 Min) في محلول يوديد البوتاسيوم KI، احسب كتلة المواد التي تتجمع عند القطبين . علماً بأن الكتل الذرية : (K = 39.1, I = 127).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

معادلتني تفاعلي ترسيب اليود والبوتاسيوم :



وبتطبيق قانون فاراداي الأول يمكن حساب كتلتي البوتاسيوم

واليود المترسبتين :

$$m_{\text{I}_2} = \frac{\text{Mw} \cdot \text{I} \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{\text{I}_2} = \frac{(2 \times 127) \times (10.4) \times (23 \times 60)}{2 \times 96500}$$

$$m_{\text{I}_2} = 18.89 \text{ g}$$

$$m_{\text{K}} = \frac{\text{Aw} \cdot \text{I} \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$m_{\text{K}} = \frac{39.1 \times 10.4 \times 23 \times 60}{1 \times 96500}$$

$$m_{\text{K}} = 5.8 \text{ g}$$

## مثال (٢٠-٥٩)

احسب كتلة الألومينيوم المترسبة (Al) والكلور المتصاعدة (Cl<sub>2</sub>)عند التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الألومينيوم AlCl<sub>3</sub>، إذا

كانت شدة التيار المارة (5 A) لمدة ساعتين بين أقطاب بلاتين.

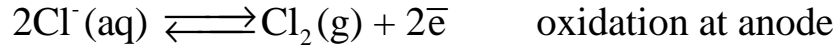
الكتل الذرية (Cl = 35.5, Al = 27)

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

نكتب تفاعلات المصعد والمهبط كما يلي :



ولحساب كتلة الألومنيوم المترسبة والكلور المتصاعدة نطبق قانون فاراداي:

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{Mw_{\text{Cl}_2} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{(2 \times 35.5) \times (5) \times (2 \times 3600)}{2 \times 96500}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = 13.24 \text{ g}$$

$$m_{\text{Al}} = \frac{(Aw_{\text{Al}}) \times I \times t}{Z \times F}$$

$$m_{\text{Al}} = \frac{27 \times 5 \times 2 \times 3600}{3 \times 96500}$$

$$m_{\text{Al}} = 3.36 \text{ g}$$

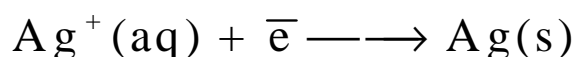
## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## مثال (٢٠-٦٠)

احسب الزمن اللازم لترسيب (2.16 g) من الفضة عند إمرار تيار كهربائي في محلول نترات الفضة شدته (32 A) علماً بأن الكتلة الذرية للفضة تساوي (108).

## الحل



$$m_{\text{Ag}} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{\text{Ag}} \cdot Z \cdot F}{A_w \cdot I}$$

$$t = \frac{2.16 \times 1 \times 96500}{108 \times 32}$$

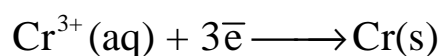
$$t = 60.31 \text{ S}$$

## مثال (٢٠-٦١)

كم دقيقة لازمة لترسيب (7 g) من الكروم وذلك بإمرار تيار ثابت قدره (3A) في محلول  $\text{CrCl}_3$  (حيث  $A_w = 52$ )

## الحل

معادلة التفاعل :



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

ولحساب الزمن نتبع قانون فاراداي الأول :

$$m_{Cr} = \frac{Aw_{Cr} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$t = \frac{m_{Cr} \cdot Z \cdot F}{Aw_{Cr} \cdot I}$$

$$t = \frac{7 \times 3 \times 96500}{52 \times 3}$$

$$t = 12990.38 \text{ S}$$

$$t = \frac{12990.38 \cancel{\text{S}}}{60 \cancel{\text{S}} \text{ min}^{-1}}$$

$$t = 216.51 \text{ min}$$

**مثال (٢٠-٦٢)**

ما كمية الكهرباء بالفاراداي اللازمة لإنتاج :

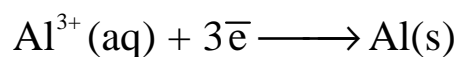
27 g of Al (أ)

8 g of O<sub>2</sub> (ب)

علماً بأن الكتل الذرية : (Al = 27, O = 16)

**الحل**

(أ) معادلة تكوين الألومنيوم :



## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

$$m_{Al} = \frac{A_w \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$27 = \frac{27 \times I \times t}{3 \times 96500}$$

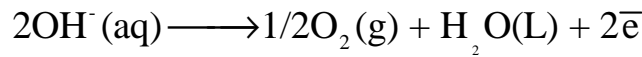
$$I t = \frac{27 \times 3 \times 96500}{27}$$

$$I t = 289500 \text{ C}$$

$$I t = 289500 \text{ C} \times \left( \frac{1 \text{ F}}{96500 \text{ C}} \right)$$

$$I t = 3 \text{ F}$$

(ب) معادلة تكوين الأوكسجين :



$$m_{\text{O}_2} = \frac{M_w \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$8 = \frac{32 \times I \times t}{2 \times 96500} \Rightarrow I t = \frac{8 \times 2 \times 96500}{32}$$

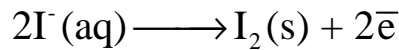
$$I t = 48250 \text{ C}$$

$$\Rightarrow I t = 48250 \text{ C} \times \left( \frac{1 \text{ F}}{96500 \text{ C}} \right)$$

$$I t = 0.5 \text{ F}$$

**مثال (٢٠-٦٣)**

احسب كمية الكهرباء بالكولوم لتكوين (10 g) من اليود من محلول يوديد البوتاسيوم وفقاً للمعادلة التالية :



(علماً بأن الكتلة الذرية لليود :  $A_{wI} = 127$ ).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## الحل

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{I_2} = \frac{(Mw_{I_2}) \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$It = \frac{m_{I_2} \cdot z \cdot F}{Mw_{I_2}}$$

$$It = \frac{10 \times 2 \times 96500}{(2 \times 127)}$$

$$It = 7598.4 \text{ C}$$

## مثال (٢٠-٦٤)

عند مرور تيار كهربائي على خليتين متصلتين على التوالي (شدة التيار المارة واحدة)، تحتوي إحداهما على محلول  $\text{CuSO}_4$  والأخرى على محلول  $\text{AgNO}_3$ ، ترسبت كمية من الفضة مقدارها (2 g) احسب :

(أ) وزن النحاس المترسب

(ب) شدة التيار المار لترسيب (2 g) من الفضة في زمن قدره ساعة.

(علماً بأن الكتل الذرية :  $\text{Cu} = 63.5$ ,  $\text{Ag} = 108$ ).

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

## الحل

(أ) بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

$$\frac{m_{\text{Ag}}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{Ew_{\text{Ag}}}{Ew_{\text{Cu}}}$$

$$\frac{2 \text{ g}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{(108/1)}{(63.5/2)}$$

$$\frac{2 \text{ g}}{m_{\text{Cu}}} = \frac{108}{31.75}$$

$$m_{\text{Cu}} = \frac{2 \times 31.75}{108}$$

$$m_{\text{Cu}} = \frac{63.5}{108}$$

$$m_{\text{Cu}} = 0.59 \text{ g}$$

(ب) حساب شدة التيار المار لترسيب (2 g) من الفضة في زمن قدره ساعة.

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

$$m_{\text{Ag}} = \frac{Aw_{\text{Ag}} \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

$$2 = \frac{108 \times I \times 3600 \text{ S}}{1 \times 96500}$$

$$I = \frac{2 \times 1 \times 96500}{108 \times 3600}$$

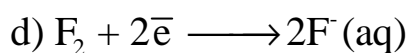
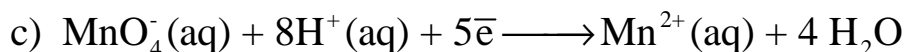
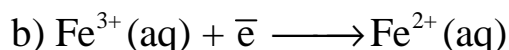
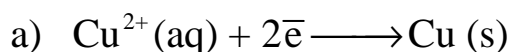
$$I = 0.5 \text{ A}$$

## الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

## مثال (٢٠-٦٥)

كم فاراداي يلزم لاختزال مول واحد من كل مما يلي ليعطي الناتج المبين :



## مثال (٢٠-٦٦)

كم عدد الإلكترونات الذي يوازي (1 C) من الشحنة؟

## مثال (٢٠-٦٧)

كم مولاً من الإلكترونات تعطى بواسطة :

أ) 8950 C

ب) تيار مقداره (1.5 A) لمدة (30 S).

ج) تيار مقداره (14.7 A) لمدة (10 min).

## مثال (٢٠-٦٨)

بين كم دقيقة تلزم لحدوث ما يلي :

أ) إنتاج (10500 C) باستعمال تيار قدره (25 A)

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

- ب) إنتاج (0.65 F) باستعمال تيار قدره (15 A).
- ج) اختزال (0.20 mol) من  $\text{Cu}^{2+}$  إلى Cu باستعمال تيار قدره (12 A).

**مثال (٢٠-٦٩)**

كم ثانية تلزم لترسيب (21.4 g) من الفضة من محلول  $\text{AgNO}_3$  بتيار قدره (10.0 A).

**مثال (٢٠-٧٠)**

كم ساعة تلزم لترسيب (35.3 g) من Cr من محلول  $\text{CrCl}_3$  بتيار قدره (6.00 A)؟

**مثال (٢٠-٧١)**

كم دقيقة تلزم لطلاء (5.00 g) من النحاس من محلول  $\text{CuSO}_4$  بتيار قدره (5.00 A)؟

**مثال (٢٠-٧٢)**

ما التيار اللازم لترسيب (0.225 g) من النيكل من محلول  $\text{NiSO}_4$  في زمن قدره عشر دقائق (100.0 min).

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

**مثال (٢٠-٧٣)**

في إحدى التجارب، وصل كولومتران على التوالي، أحدهما يحتوي على  $\text{CuSO}_4$ ، والثاني على ملح مجهول (X). وقد وجد أن (1.25 g) من النحاس قد تم الطلاء بها خلال نفس الفترة الزمنية التي استعمل فيها للطلاء (3.42 g) من الفلز المجهول.

(أ) كم مولاً من الإلكترونات مرت خلال هذا الكولومتر؟

(ب) إذا كانت حالة التأكسد لأيون الفلز المجهول (+2) فما هي الكتلة المولارية للمجهول؟

**مثال (٢٠-٧٤)**

وصل كولومتران على التوالي بحيث يمر نفس التيار في كل منهما، وفي إحدى التجارب تم ترسيب (0.125 mol) من Cu من محلول  $\text{CuSO}_4$  في أحد الكولومترين. كم مولاً من Cr رسبت في نفس الوقت من محلول  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  في الآخر؟

**مثال (٢٠-٧٥)**

ما التيار اللازم لإنتاج (50.0 cm<sup>3</sup>) من غاز الأوكسجين مقاساً عند (STP) بالتحليل الكهربائي للماء لمدة ثلاث ساعات (3.00 h)؟

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**مثال (٢٠-٧٦)**

كم مولاً من الإلكترونات تلزم لإنتاج :

أ) 10.0 g من Al من مصهور  $Al_2O_3$

ب) (5.00 g) من Na من مصهور NaCl

ج) (5.00 g) من Mg من مصهور  $MgCl_2$

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

**كفاءة التيار**

إن الجزء الأكبر من التيار المار في الخلية أثناء التحليل الكهربائي تستهلك في تفاعلات كيميائية تسمى (faradic current)، والجزء المتبقي من التيار يستخدم في أغراض أخرى (non-faradic current) والنسبة بين كمية الكهرباء التي تم الحصول عليها من التحليل الكهربائي وكمية الكهرباء التي تمر في المحلول (المحسوبة نظرياً من قوانين فاراداي) تعرف بكفاءة التيار (current efficiency) :

$$\% \text{ Current Efficiency} = \frac{\text{Observed Quality of Electricity}}{\text{Theoretical Quality of Electricity}} \times 100$$

**أسباب انخفاض كفاءة التيار****العوامل التي تسبب الحيود عن قوانين فاراداي**

توجد عدة عوامل تسبب الحيود عن قوانين فاراداي (أي تسبب انخفاض كفاءة التيار عن 100 %) ومن هذه العوامل :

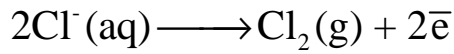
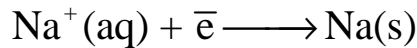
**١) إعادة اتحاد المواد الأولية الناتجة على سطح القطب****Recombination of Primary Electrode Products**

في حالة التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم (NaCl) باستخدام قطب الزئبق ككاتود تكون نواتج الكاثود الأولية

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

(Na/Hg)، فإذا لم تؤخذ الاحتياطات اللازمة لمنع تلامسها مع نواتج الأنود (هي غاز الكلور  $Cl_2$ ) فتكون النتيجة إعادة اتحاد الصوديوم (Na) مع الكلور ( $Cl_2$ ) واستهلاك كمية من الكهرباء في تفاعلات غير مفيدة ومن ثم انخفاض كفاءة التيار.

**٢) عدم ثبات النواتج الأولية**Instability of Primary Electrode Products

في المثال السابق نجد أن الناتج (Na/Hg) غير ثابت وحساس جداً للرطوبة والهواء ولا بد من حمايته من الجو الخارجي (protected from the atmosphere)

**٣) حدوث بعض التفاعلات مع القطب أو الإلكتروليت**Chemical or Physical Reactions with Electrodes of Electrolysis

من التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم (NaCl) نجد أن ( $Cl_2$ ) يهاجم البلاتين أو الجرافيت كأنود، ويزوب في الماء مكوناً

**الفصل العشرون : قوانين فاراداي للتحليل الكهربائي**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

هيبوكلوريت، ويمكن أيضاً اتحاد (Cl<sub>2</sub>) مع (H<sub>2</sub>) أو أي قاعدة تكونت من (Na/Hg).

**٤) حدوث تفاعلات قطبية غير مفيدة**Unproductive Electrode Reactions

في حالة استخدام تيار ذي شدة مرتفعة للتحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (CuSO<sub>4</sub>) واستخدام أقطاب نحاس، نجد أن بعض التيار يستهلك في إنتاج غاز الهيدروجين  $(2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2(g))$  بدلاً من استخدامه في ترسيب النحاس على الكاثود  $(Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu(s))$ . وفي نفس الوقت إذا تم استخدام قطب نحاس غير نقي كأنود نجد أيضاً استهلاك جزء من التيار في ذوبان الشوائب بدلاً من ذوبان قطب النحاس لكي يعوض المحلول بأيونات النحاس (Cu<sup>2+</sup>) التي تترسب على الكاثود في صورة فلز النحاس.

**٥) تولد حرارة**Generation of Heat

باستخدام تيار ذي شدة مرتفعة نجد انخفاض كفاءة التيار بسبب استهلاك جزء من التيار في إنتاج حرارة، وأيضاً بزيادة مقاومة المحلول تتولد كمية من الحرارة.