قوانين فاراداي للتحليل الكهربي

قام مايكل فاراداي (Faraday) عام ١٨٣٤م بدراسة التحليل الكهربي وتوصل الى قانونين يحكمان عملية التحليل الكهربي.

فكان فاراداي أول من اكتشف بشكل كمي العلاقة الموجودة بين كمية التيار المستعمل ومدى التغير الكيميائي الذي يحدث عند الأقطاب أثناء التحليل الكهربي.

القانون الأول :

وينص على :

" تتناسب كمية المادة m (g) التي يطرأ عليها تغير كيميائي (أكسدة أو اختزال (ذوبان، ترسيب ، أو تصاعد غاز)) عند الأقطاب تناسباً طردياً مع كمية الكهرباء (Q) التي تمر في المحلول الإليكتروليتي أو المصهور".

وتقاس كمية الكهرباء (Q) بالكولوم (Coulomb)، وهو عدد الأمبيرات (شدة التيار) المارة في وحدة الزمن.

صياغة القانون الأول رياضياً :

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

فإن القانون الأول بصورته الرياضية :

$$m \alpha Q \Rightarrow m \alpha I . t$$
$$m = K . I . t$$

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

ويمكن تعريف المكافيء الكهروكيميائي K رياضياً :

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

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

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

حساب المكافيء الكهروكيميائي :

يحسب من العلاقة التالية :

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

أو

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

حيث (Mw) تعبر عن الوزن الجزيئي عندما يكون الناتج جزيئاً مثل (H_2, Cl_2....)، بينما (Aw) تعبر عن الوزن الذري عندما يكون الناتج معدناً مثل (Ag, Cu ,.....). و (Ew) يعبر عن الوزن المكافيء وهو عبارة عن قسمة الوزن الجزيئي أو الوزن الذري على (Z) عدد الإلكترونات المتنقلة في التفاعل الموزون.

مثال (٧٥)

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

الحل

$$2H^+ + 2\bar{e} \longrightarrow H_2(g)$$

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

$$Ag^+(aq) + \bar{e} \longrightarrow Ag$$

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

وبالتعويض بقيمة $K = \frac{Aw}{Z\,F}$ في القانون الأول : $m = K \,.\, I \,.\, t$ نحصل على:

$$m = K \,.\, I \,.\, t$$

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

or

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

توضيح لقانون فاراداي الأول :

لنأخذ مثالاً ترسيب أيونات الصوديوم (الوزن الذري لمول منه = 23 g)

$$Na^+(aq) + \bar{e} \longrightarrow Na(s)$$

فعندما يكتسب أيون صوديوم إلكتروناً 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).

$$1 \text{ mol of } \bar{e} = 6.023 \times 10^{23} \text{ electrons} \longrightarrow 23 \text{ g (Na)}$$
$$2 \text{ mol of } \bar{e} = 2 \times 6.023 \times 10^{23} \text{ electrons} \longrightarrow 2 \times 23 \text{ g (Na)}$$

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

تعريف الفاراداي

هو كمية الكهرباء التي شحنتها تعادل شحنة مول واحد من الإلكترونات ولها القدرة على ترسيب مكافيء جرامي واحد من أي عنصر.

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

١ فاراداي = شحنة مول من الإلكترونات

وحيث أن شحنة الإلكترون الواحد تساوي = 1.60198×10^{-19} Coulomb

وبالتالي فإن شحنة واحد فاراداي يساوي :

$$1\text{Faraday} = 1.60198 \times 10^{-19} \times 6.023 \times 10^{23} = 96487 \text{ Coulomb}$$

وللتقريب فإننا سنستخدم قيمة فاراداي بـ 96500 C لتسهيل الحسابات. والرقم للفارادي (96487 C) وجد بالتجربة قبل إثباته بالحسابات.

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)

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

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A.S}$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

وبالتعويض بها في المعادلة $m = \frac{Aw \cdot I. t}{Z \cdot F}$ نحصل على :

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

وسبق وأن وضحنا في فصل طرق التعبير عن التركيز أن عدد المولات n :

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

وبالتعويض بقيمة $m = n \cdot Aw$ في المعادلة $m = \frac{Aw \cdot F}{Z}$:

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

وبقسمة الطرفين على Aw نحصل على :

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

حيث F : كمية الكهرباء بالفاراداي.

وعند تحويل كمية الكهرباء بالكولوم فإن العلاقة $n = \frac{F}{Z}$ تؤول الى :

$$n = \frac{F}{Z}$$
$$n = \frac{Q}{Z \times 96500}$$
$$n = \frac{I \times t}{Z \times 96500}$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

القانون الثاني لفاراداي

نصه : "عند مرور نفس الكمية من الكهرباء ، في خليتي تحليل كهربي متصلتين على التوالي، فإن كميات المواد التي يطرأ عليها تغير عند الأقطاب (أكسدة أو اختزال) تتناسب طردياً مع أوزانها المكافئة".

حيث أن مرور واحد فاراداي (96500 C) في خلية التحليل الكهربي يؤدي الى ترسيب (أو تصاعد) واحد مكافئ جرامي من المادة التي يطرأ عليها تغير (أكسدة أو اختزال) عند القطب.

فإذا كان (m_1, m_2) هما كتلتا المادتين اللتين طرأ عليهما تغير، وكانت أوزانهما المكافئة (Ew_1, Ew_2)، فإن القانون الثاني يمكن صياغته رياضياً :

$$m_1 \ \alpha \ Ew_1 \Rightarrow m_1 = K \cdot Ew_1$$

$$m_2 \ \alpha \ Ew_2 \Rightarrow m_2 = K \cdot Ew_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\cancel{K} \cdot Ew_1}{\cancel{K} \cdot Ew_2}$$

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

والصيغة الأخيرة :

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

تعبر عن قانون فاراداي الثاني.

ولحساب الوزن المكافيء لأي معدن يترسب على القطب فإننا نقسم وزنه الذري على عدد الإلكترونات المتنقلة في التفاعل.

مثال (٧٦)

$$Cr^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Cr(s)$$

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

$$Cu^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Cu(s)$$

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

مثال (٧٧)

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

الحل

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

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

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

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٧٨)

إذا مرر تيار كهربي 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)

الحل

معادلتي تفاعلي ترسيب اليود والبوتاسيوم :

$$K^+ + \bar{e} \xrightleftharpoons{\text{reduction}} K$$

$$2I^- \xrightleftharpoons{\text{oxidation}} I_2 + 2\bar{e}$$

وبتطبيق قانون فاراداي الأول يمكن حساب كتلتي البوتاسيوم واليود المترسبتين :

$$m_{I_2} = \frac{Mw \cdot I \cdot t}{Z \cdot F}$$

$$m_{I_2} = \frac{(2 \times 127) \times (10.4) \times (23 \times 60)}{2 \times 96500}$$

$$m_{I_2} = 18.89 \text{ g}$$

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

$$m_K = \frac{39.1 \times 10.4 \times 23 \times 60}{1 \times 96500}$$

$$m_K = 5.8 \text{ g}$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٧٩)

احسب كتلة الألومينيوم المترسبة (Al) والكلور المتصاعدة (Cl_2) عند التحليل الكهربي لمصهور كلوريد الألومينيوم $AlCl_3$، إذا كانت شدة التيار المارة (5 A) لمدة ساعتين بين أقطاب بلاتين. الكتل الذرية (Cl = 35.5, Al = 27)

الحل

نكتب تفاعلات المصعد والمهبط كما يلي :

$$2Cl^-(aq) \rightleftarrows Cl_2(g) + 2\bar{e} \qquad \text{oxidation at anode}$$

$$Al^{3+}(aq) + 3\bar{e} \rightleftarrows Al(s) \qquad \text{reduction at cathode}$$

ولحساب كتلة الألومنيوم المترسبة والكلور المتصاعدة نطبق قانون فاراداي:

$$m_{Cl_2} = \frac{Mw_{Cl_2} \cdot I \cdot t}{Z\ F}$$

$$m_{Cl_2} = \frac{(2 \times 35.5) \times (5) \times (2 \times 3600)}{2 \times 96500}$$

$$m_{Cl_2} = 13.24\ g$$

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

$$m_{Al} = \frac{27 \times 5 \times 2 \times 3600}{3 \times 96500} = 3.36\ g$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٨٠)

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

الحل

$$Ag^{+}(aq) + \bar{e} \longrightarrow Ag(s)$$

$$m_{Ag} = \frac{Aw.\ I.\ t}{Z.\ F}$$

$$t = \frac{m_{Ag}.Z.\ F}{Aw\ .\ I}$$

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

$$t = 60.31\ S$$

مثال (٨١)

كم دقيقة لازمة لترسيب (7 g) من الكروم وذلك بإمرار تيار ثابت قدره (3A) في محلول $CrCl_3$ (حيث Aw = 52)

الحل

معادلة التفاعل :

$$Cr^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Cr(s)$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

ولحساب الزمن نتبع قانون فاراداي الأول :

$$m_{Cr} = \frac{Aw.\ I.\ t}{Z.\ F}$$

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

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

$$t = 12990.38\ S$$

$$t = \frac{12990.38 \not{S}}{60 \not{S}\ min^{-1}}$$

$$t = 216.51\ min$$

مثال (٨٢)

ما كمية الكهرباء بالفاراداي اللازمة لإنتاج :

أ) 27 g of Al ب) 8 g of O_2 علماً بأن الكتل الذرية : (Al = 27, O = 16)

الحل

أ) معادلة تكوين الألومينيوم :

$$Al^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Al(s)$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

$$m_{Al} = \frac{Aw.I.t}{Z.F}$$

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

$$It = \frac{27 \times 3 \times 96500}{27}$$

$$It = 289500\ C$$

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

$$It = 3F$$

ب) معادلة تكوين الأكسجين :

$$2OH^-(aq) \longrightarrow 1/2O_2(g) + H_2O(L) + 2\bar{e}$$

$$m_{O_2} = \frac{Mw.I.t}{Z.F}$$

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

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

$$It = 0.5\ F$$

مثال (٨٣)

احسب كمية الكهرباء بالكولوم لتكوين (10 g) من اليود من محلول يوديد البوتاسيوم وفقاً للمعادلة التالية : $2I^-(aq) \longrightarrow I_2(s) + 2\bar{e}$ (علماً بأن الكتلة الذرية لليود : $Aw_I = 127$).

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

الحل

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

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

$$It = 7598.4\ C$$

مثال (٨٤)

عند مرور تيار كهربي على خليتين متصلتين على التوالي (شدة التيار المارة واحدة)، تحتوي إحداهما على محلول $CuSO_4$ والأخرى على محلول $AgNO_3$، 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 : Cu = 63.5, Ag = 108)

الحل

أ) بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

$$m_{Cu} = \frac{2 \times 31.75}{108} = \frac{63.5}{108} = 0.59\ g$$

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

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

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

$$I = 0.5A$$

مثال (٨٥)

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار كهربي مقداره (7 A) ليرسب 241 g من النحاس من محلول كلوريد النحاس II ($CuCl_2$)، علماً بأن (Aw = 63.5) .

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

الحل

معادلة الترسيب : $(Cu^{2+} + 2\bar{e} \longrightarrow Cu)$ **، وبتطبيق قانون فارادي الأول :**

$$m_{Cu} = \frac{Aw \,.\, I.\, t}{Z \,.\, F}$$

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

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

$$t = 104641.17\ S$$

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

$$t = 29.067\ h$$

مثال (٨٦)

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

الحل

معادلة تحرير اليود :

$$2I^{-}(aq) \longrightarrow I_2(s) + 2\bar{e}$$

وبتطبيق قانون فاراداي الأول :

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

$$I = 2.11A$$

مثال (٨٧)

كم من الوقت يلزم لإنتاج (25 g) من الكروم (Cr) من محلول $CrCl_3$ بإمرار تيار كهربي مقداره (2.75 A) (Aw = 52)

الحل

معادلة ترسيب الكروم :

$$Cr^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Cr(s)$$

ولحساب الزمن نتبع قانون فاراداي الأول :

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

$$t = \frac{m_{Cr} \cdot Z \cdot F}{Aw_{Cr} \cdot I} = \frac{25 \times 3 \times 96500}{52 \times 2.75} = 50611.89\ S = 14.06\ hours$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٨٨)

كم من الزمن (بالساعة) يلزم لترسيب (21.4 g) من الفضة من محلول ($AgNO_3$) بتيار قدره (10.0 A). (الكتلة الذرية للفضة : Ag = 108)

الحل

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

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

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

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

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

مثال (٨٩)

كم من الزمن بالساعة تلزم لترسيب 35.3 g من الكروم من محلول $CrCl_3$ بتيار قدره 6 A؟ ($Aw_{Cr} = 52$ g/mol)

الحل

معادلة ترسيب (اختزال) الكروم هي : $Cr^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Cr(s)$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

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

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

مثال (٩٠)

ما مقدار الزمن اللازم لمرور تيار شدته (10 A) خلال خلية بها مصهور كلوريد الباريوم ($BaCl_2$) حتى ينتج كمية مقدارها : أ) 15 g من الباريوم. ب) احسب كمية الكلور المتكونة.

حيث أن ($Aw_{Ba} = 137.3, Aw_{Cl} = 35.5$)

الحل

أ) 15 g of Ba :

معادلة اختزال (ترسيب) الباريوم :

$$Ba^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Ba(s)$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

$$t = 2108.52\ S$$

$$t = 0.586\ h$$

ب) حساب كمية الكلور المتكونة في نفس المدة :

معادلة تكوين غاز الكلور (تفاعل الأكسدة) :

$$2Cl^-(aq) \longrightarrow Cl_2(g) + 2\bar{e}$$

$$m_{Cl_2} = \frac{Mw_{Cl_2} \cdot I \cdot t}{Z\ F}$$

$$m_{Cl_2} = \frac{(2 \times 35.5) \times (10) \times (2108.52)}{2 \times 96500}$$

$$m_{Cl_2} = 7.76\ g$$

مثال (٩١)

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار مقداره (4 A) ليرسب (127 g) من النحاس من محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$)، علماً بأن التفاعل عند الكاثود هو:

$$Cu^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Cu(s)$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

الحل

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

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

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

$$t = 96500\ S$$

$$t = 26.8\ h$$

مثال (٩٢)

احسب عدد الساعات اللازمة لتيار كهربي مقداره (7 A) ليرسب (241 g) من النحاس من محلول كلوريد النحاس $CuCl_2$ علماً بأن التفاعل عند الكاثود هو :

$$Cu^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Cu(s)$$

(حيث Aw_{Cu} = 63.5, 1 F = 96500 C).

الحل

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

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

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

$$t = 104641.2\ S$$

$$t = 29.067\ h$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٩٣)

إذا لزم (96.5 C) لترسيب (0.0177 g) من الكروم الثلاثي (Cr^{3+}) بالتحليل الكهربي.

احسب الوزن الذري للكروم (F = 96500)

الحل

معادلة الترسيب :

$$Cr^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Cr(S)$$

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

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

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

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

مثال (٩٤)

ما شدة التيار بالأمبير اللازمة لترسيب (0.225 g) من Ni من محلول $NiSO_4$ في زمن قدره (10 Min) (F = 96500 C) ، (والكتلة الذرية = Aw_{Ni} = 58.71).

الحل

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

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

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

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

$$I = 1.23\ A$$

مثال (٩٥)

ما كتلة الألومينيوم التي تترسب بالتحلل الكهربي نتيجة لمرور تيار قدره 40 A ولمدة 30 Min $(Aw_{Al} = 27)$

الحل

معادلة التفاعل :

$$Al^{3+}(aq) + 3\bar{e} \longrightarrow Al(s)$$

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

$$m_{Al} = 6.715g$$

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٩٦)

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

الحل

معادلة التفاعل : $Ag^+(aq) + \bar{e} \longrightarrow Ag(s)$

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

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

$$t = 1912.13\ S$$

مثال (٩٧)

كم دقيقة تلزم لطلاء (5.00 g) من النحاس من محلول كبريتات النحاس بتيار قدره (5.00 A) (الكتلة الذرية للنحاس : $Aw_{Cu} = 63.5\ g/mol$).

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

الحل

معادلة التفاعل :

$$Cu^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Cu(s)$$

بتطبيق قانون فاراداي الأول :

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

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

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

$$t = 3039.37\ S$$

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

$$t = 50.66\ Min$$

مثال (٩٨)

في إحدى التجارب، وصل كولومتران (خليتان) على التوالي، إحداهما يحتوي محلول كبريتات النحاس ($CuSO_4$) 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) .

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

أ) إذا كانت حالة التأكسد لأيون الفلز المجهول هي (+2) فاحسب الكتلة المولية (الوزن الجزيئي) للمجهول ($Aw_{Cu} = 63.5$)

ب) كم مولاً من الإلكترونات مرت خلال هذا الكولومتر.

الحل

أ) حساب الكتلة المولية للمجهول :

بتطبيق قانون فاراداي الثاني :

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

$$\frac{1.25}{3.42} = \frac{63.5/2}{Ew_X}$$

$$Ew_X = \frac{3.42(63.5/2)}{1.25}$$

$$Ew_X = 86.87$$

ولإيجاد الوزن المولي (الجزيئي) من قيمة الوزن المكافيء :

$$Mw_X = Ew_X \times 2 = 86.87 \times 2 = 173.74 \text{ g/mol}$$

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 :

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

$$m_{Cu} = \frac{Aw.\ I.\ t}{Z.\ F}$$

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

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

$$I.t = 3799.2\ C$$

ومن المعلوم أن مرور (1 F = 96500 C) يعني مرور مول واحد من الإلكترونات وهو يعادل عدد أفوجادرو من الإلكترونات :

$$96500\ C \longrightarrow 1\ mole \longrightarrow 6.023 \times 10^{23}\ \bar{e}$$

$$3799.2\ C \longrightarrow n\ \bar{e} \longrightarrow X\ \bar{e}$$

وبأخذ أحد العلاقتين :

$$96500\ C \longrightarrow 6.023 \times 10^{23}\ \bar{e}$$

$$3799.2\ C \longrightarrow X\ \bar{e}$$

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

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

مثال (٩٩)

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 ($CuSO_4$) في أحد الكولومترين.

كم مولاً من الكروم (Cr) رسبت في نفس الوقت من محلول كبريتات الكروم $Cr_2(SO_4)_3$

علماً بأن الكتل الذرية ($Aw_{Cu} = 63.5, Aw_{Cr} = 52$) .

الحل

معادلتا الترسيب هما : $\left(Cu^{2+}(aq) + 2\bar{e} \longrightarrow Cu(s)\right), \left(Cr^{3+}(aq) + 3e \longrightarrow Cr(s)\right)$

أولاً : نوجد الأوزان المكافئة لكلا الفلزين :

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

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

ثانياً : نحول وزن مولات النحاس المترسبة الى وزن بالجرام حيث :

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com

ثالثاً : نوجد وزن الكروم المترسب من قانون فاراداي الثاني :

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

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

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

$$m_{Cr} = 4.3g$$

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

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

PDF created with FinePrint pdfFactory Pro trial version http://www.pdffactory.com