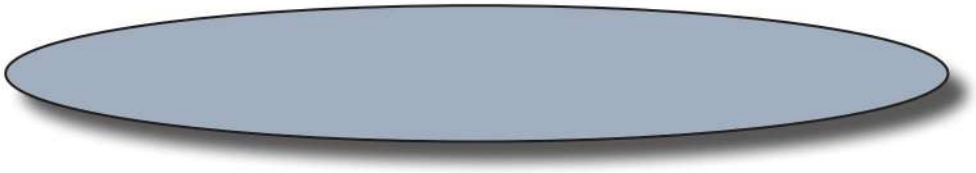
دولة ليبيا
وزارة التعليم
مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

الكيمياء



للسنة الثانية من مرحلة التعليم الثانوي

(القسم العلمي)

الدرس الرابع

المدرسة الليبية بفرنسا ـ تور

العام الدراسي:

1441 / 1442 هـ . 2020 / 2021 م.

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

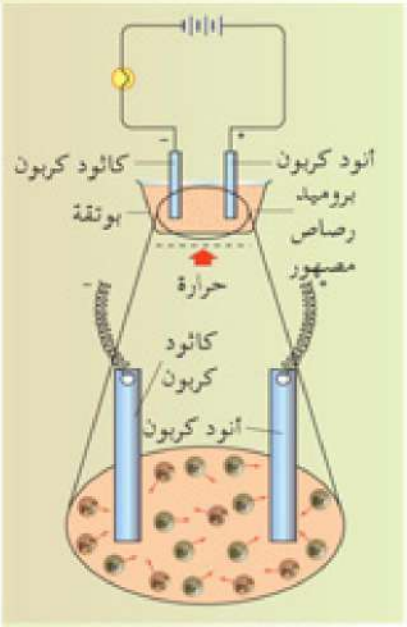
2-5أ التحليل الكهربائي لبروميد الرصاص (II) : فقط عندما يكون مصهورًا

Electrolysis of Lead (II) Bromide: Only When Molten

يتكون بروميد الرصاص من أيونات رصاص (II) Pb^{2+}، وأيونات بروميد Br^-، صيغته الكيميائية $PbBr_2$. والجهاز المناسب لإجراء التحليل الكهربائي مبين في شكل 2-7 أ.

يساعد مصباح الإضاءة على بيان سريان الكهرباء خلال الدائرة. ولا يضيء المصباح حتى يصبح بروميد الرصاص (II) مصهورًا تمامًا.

ويؤكد ذلك أن الإلكتروليتات الصلبة يجب أن تكون مصهورة لكي تبدأ الأيونات في الحركة إلى الأقطاب، و من ثم توصل الكهرباء.



شكل 2-7 أ التحليل الكهربائي لمصهور بروميد الرصاص (II)

عند الأنود

عند سريان الكهرباء، تتكون أبخرة بنيّة من غاز البروم عند الأنود.

$Br^- \rightarrow Br + e^-$

$Br + Br \rightarrow Br_2\ (g)$ (تصاعد غاز البروم)

ولكون أيونات البروميد سالبة، تتحرك إلى الأنود الموجب، حيث يفقد كل أيون إلكترونًا ليكون ذرة بروم، ثم تتحد كل ذرتي بروم حديثة التكوين معًا لتكون غاز البروم. يتضمن أي تفاعل عند الأنود فقد إلكترونات. ويعرف ذلك **بالأكسدة** (انظرالوحدة 2-1 في هذا الكتاب)، أو على نحو أدق **أكسدة أنودية**.

عند الكاثود

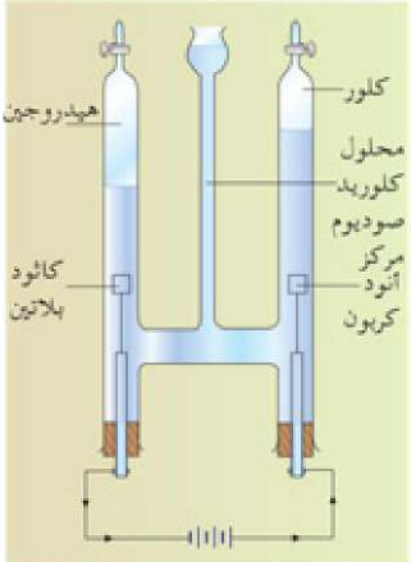
عند سريان الكهرباء، يتكون راسب من الرصاص الفضي على الكاثود، ولكونه مصهورًا، يتساقط كفقاعات مصهورة.

$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb\ (\ell)$ (رصاص مصهور يترسب)

تتحرك أيونات الرصاص (II) الموجبة نحو الكاثود السالب، حيث يكتسب كل أيون إلكترونين ليكون ذرة رصاص. ويسمى أي تفاعل عند الكاثود يصاحبه اكتساب إلكترونات **بالاختزال**، أو على نحو أكثر دقة يسمى **اختزالًا كاثوديًّا**.

ويمكن تلخيص ذلك بأن بروميد الرصاص (II) انقسم إلى عناصره المكونة كالتالي :

$PbBr_2\ (\ell) \longrightarrow Pb\ (\ell) + Br_2\ (g)$



شكل 2-7 ب التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد صوديوم مركز

2-5ب التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم المركز (ماء مالح)

Electrolysis of Concentrated Sodium Chloride Solution (Brine)

تصمم خلية التحليل الكهربائي المستخدمة لتحليل محلول كلوريد الصوديوم المركز بحيث يمكن جمع النواتج الغازية عند القطبين كما هو مبين في شكل 2-7 ب. يكون الكاثود بلاتينًا أو كربونًا، ولكن يجب أن يكون الأنود كربونًا لمقاومة فعل الكلور.

الأيونات الموجودة

توجد أربعة أيونات في هذا المحلول :

من كلوريد الصوديوم :	$Na^+(aq)$ $Cl^-(aq)$
من الماء :	$H^+(aq)$ $OH^-(aq)$

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

عند الكاثود

تتحرك أيونات الصوديوم والهيدروجين نحو الكاثود. ونظرًا لِدُنو أيون الهيدروجين (H^+) في سلسلة الفاعلية الكيميائية من أيونات الصوديوم (Na^+)، فإنه يقبل الإلكترونات بسهولة أكثر.

وتعادل أيونات الهيدروجين (H^+) شحنتها:

$$H^+(aq) + e^- \rightarrow H$$

تتحد ذرات الهيدروجين في أزواج لتكون جزيئات:

$$H + H \rightarrow H_2(g)$$ (تصاعد غاز الهيدروجين)

عند الأنود

تنتقل أيونات كل من الكلوريد (Cl^-) والهيدروكسيد (OH^-) إلى الأنود، ولكن يكون لأيونات الكلوريد (Cl^-) الأفضلية في التعادل بسبب تركيزاتها الأعلى.

$$Cl^-(aq) \rightarrow Cl + e^-$$

تتحد ذرات الكلور في أزواج لتكون جزيئات:

$$Cl + Cl \rightarrow Cl_2(g)$$ (تصاعد غاز الكلور)

تغيرات في المحلول

بعد خروج غازي الهيدروجين والكلور من المحلول تظل أيونات الصوديوم وأيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويصبح المحلول هيدروكسيد الصوديوم.

6-2 التحليل الكهربائي لمحلول حمض الكبريتيك
Electrolysis of Aqueous Sulphuric Acid

بما أن حمض الكبريتيك مائي، فإنه لا يتكون من مجرد أيونات هيدروجين (H^+) وأيونات كبريتات (SO_4^{2-})، ولكنه يحتوي أيضًا على أيونات هيدروكسيد (OH^-) من الماء. يبين شكل 2-8 الجهاز المستخدم لإجراء هذا التحليل الكهربائي ولجمع الغازات المتصاعدة.

عند وجود أكثر من نوع واحد من الأيونات المتشابهة في الشحنة، فإنها تتحرك إلى القطب المخالف حيث يحدث **تفريغ انتقائي** (أو تفريغ تفضيلي)، مما يعني أن الأيون الذي يفقد أو يكتسب إلكترونات بسهولة أكثر **تفريغاً لشحنته**، وتظل الأيونات الأخرى التي تفقد شحنتها بصعوبة أكثر في المحلول.

يبين جدول 3 ترتيب الأيونات طبقًا لصعوبة فقد الشحنة. وتتطلب الأيونات عند قمة الجدول كميات أكبر من الطاقة حتى تفقد شحنتها، وكلما اتجهنا أسفل الجدول تفقد الأيونات شحنتها بسهولة أكثر (بمعنى أن $Ag^+(aq)$ و $OH^-(aq)$ هما الأسهل). لاحظ أن الكاتيونات (الفلزات والهيدروجين) لها نفس الترتيب كما في **سلسلة الفاعلية الكيميائية للفلزات**، وسوف نتناول ذلك بالتفصيل في وحدة لاحقة. وتسمى أحيانًا سلسلة الفاعلية الكيميائية **بالسلسلة الإلكتروكيميائية**.

ويحدث أيضًا في حمض الكبريتيك المائي الإلكتروليتي انتقال أيونات إلى الأقطاب.

عند الأنود

تحدث المنافسة بين أيونات الكبريتات $SO_4^{2-}(aq)$، وأيونات الهيدروكسيد $OH^-(aq)$، ويتغلب أيون الهيدروكسيد، ويفقد شحنته بسهولة أكثر، فيتصاعد غاز الأكسجين عند الأنود.

$$4OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(\ell) + 4e^-$$

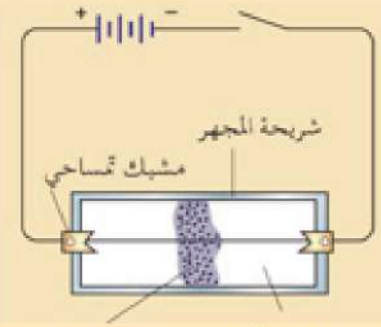
(تصاعد غاز الأكسجين)

فكر علميًّا

صممت دائرة كما هو مبين في الشكل. بعد 10 دقائق من مرور التيار الكهربائي من النضيدة، شوهد لون بنفسجي يتحرك نحو الجانب الأيسر من شريحة المجهر. اشرح حركة اللون هذه بدلالة حركة الأيونات (برمنجانات البوتاسيوم هي $K^+MnO_4^-$)

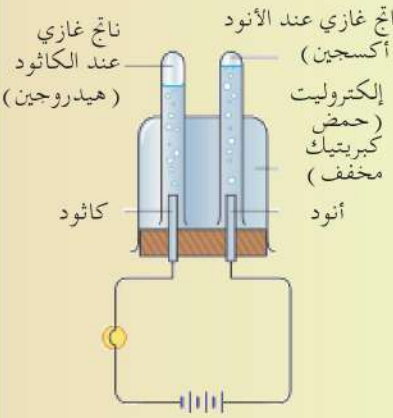
بدلًا من برمنجانات البوتاسيوم، تنبأ بما يحدث إذا استخدمنا:

- كبريتات النحاس (II) الزرقاء ($CuSO_4$)
- ثاني كرومات البوتاسيوم البرتقالية ($K_2Cr_2O_7$)



ورقة ترشيح مبللة بمحلول كلوريد الصوديوم الذي يعمل كإلكتروليت

بلورات بنفسجية من برمنجانات البوتاسيوم



شكل 2-8 التحليل الكهربائي لمحلول مائي من حمض الكبريتيك المخفف

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية

عند الكاثود

يوجد هنا نوع واحد فقط من الأيونات، وهو أيون الهيدروجين $H^+(aq)$. ويكتسب كل أيون إلكترونًا ليصبح ذرة هيدروجين. وتتحد ذرتان من ذرات الهيدروجين حديثة التكون لتُكون غاز الهيدروجين.

$$H^+(aq) + e^- \rightarrow H$$

$$H + H \rightarrow H_2(g)$$ (تصاعد غاز الهيدروجين)

بالتحليل الكهربائي للمحاليل المائية للأحماض أو القلويات المخففة، يكون حجم الهيدروجين المتصاعد عند الكاثود ضعف حجم الأكسجين عند الأنود تقريبًا.

وبناء عليه، يفقد الماء عنصريه (الأكسجين والهيدروجين)، ويزداد مع استمرار التحليل الكهربائي تركيز الحمض أو القلوي. والتحليل الكهربائي لحمض الكبريتيك المائي هو في جوهره تحليل كهربائي للماء، مع تصاعد غاز الهيدروجين والأكسجين بنسبة 1:2.

الكاتيونات	الأنيونات
$K^+(aq)$	تقل صعوبة فقد الشحنة
$Na^+(aq)$	
$Ca^{2+}(aq)$	$SO_4^{2-}(aq)$
$Mg^{2+}(aq)$	$NO_3^-(aq)$
$Zn^{2+}(aq)$	$Cl^-(aq)$
$Fe^{2+}(aq)$	$Br^-(aq)$
$Pb^{2+}(aq)$	$I^-(aq)$
$H^+(aq)$	$OH^-(aq)$
$Cu^{2+}(aq)$	
$Ag^+(aq)$	

جدول 3 تفريغ انتقائي للشحنة

7-2 العوامل المؤثرة على التحليل الكهربائي Factors Affecting Electrolysis

يوجد عاملان رئيسيان يمكن أن يؤثرا على نواتج التحليل الكهربائي، هما تركيز ونوع القطب.

التركيز

إذا كان تركيز أيون معين مرتفعًا، فقد يؤدي إلى تغيير في التفريغ الانتقائي. إذا تم على سبيل المثال التحليل الكهربائي لحمض الهيدروكلوريك المخفف، يتصاعد غاز الهيدروجين عند الكاثود وغاز الأكسجين عند الأنود:

ولكن عند التحليل الكهربائي لحمض الهيدروكلوريك المركز يظل غاز الهيدروجين يتصاعد عند الكاثود، في حين يتصاعد غاز الكلور عند الأنود.

$$Cl^-(aq) \rightarrow Cl + e^-$$

$$Cl + Cl \rightarrow Cl_2(g)$$ (يتصاعد غاز الكلور)

ويرجع ذلك إلى أن تركيز أيون الكلوريد العالي يمنحه الأفضلية في التعامل على الرغم من أن أيون الكلوريد يفقد شحنته بصعوبة أكبر من أيون الهيدروكسيد.

	الأنود	الكاثود
حمض هيدروكلوريك مخفف	غاز أكسجين	غاز هيدروجين
حمض هيدروكلوريك مركز	غاز كلور	غاز هيدروجين

جدول 4 تأثير التركيز على التحليل الكهربائي

نوع القطب

إذا تأملنا التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات النحاس (II) باستخدام أقطاب من الكربون، يتضح عدم تأثيرها على التحليل الكهربائي لأنها **أقطاب خاملة**. تتنافس عند الأنود كل من أيونات الكبريتات والهيدروكسيد، إلا أن أيونات الهيدروكسيد تفقد الشحنة بسهولة أكبر فيتصاعد غاز الأكسجين عند الأنود:

$$4OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(\ell) + 4e^-$$ (تصاعد غاز الأكسجين)

وتتنافس عند الكاثود كل من أيونات النحاس والهيدروجين. وبما أن أيونات النحاس تفقد شحنتها بسهولة أكثر، فإننا نرى راسبًا لونه أحمر وردي من فلز النحاس على قطب الكربون. فنجد عند الكاثود:

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$$ (فلز نحاس مترسب)

اختبر فهمك 2

أكمل النواتج المتكونة عند الأقطاب في الجدول التالي:

مادة التحليل الكهربائي	ناتج الأنود	ناتج الكاثود
مصهور بروميد رصاص	أبخرة بنية من	مصهور .....
محلول كلوريد صوديوم مخفف	غاز ..... عديم اللون	غاز ..... الانفجاري
محلول كلوريد صوديوم مركز	أبخرة صفراء مخضرة من غاز	غاز ..... الانفجاري
مصهور يوديد بوتاسيوم	أبخرة بنفسجية من	..... مصهور
يوديد بوتاسيوم مائي	..... الذي يلون المحلول باللون البني	غاز ..... الانفجاري

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية ـ ليبيا

	الأنود	الكاثود
كبريتات نحاس (II) مع قطب كربون	غاز أكسجين	نحاس مترسب
كبريتات نحاس (II) مع قطب نحاس	يتأين أنود النحاس (يذوب)	نحاس مترسب

جدول 5 تأثير الأقطاب المختلفة على التحليل الكهربائي

أما إذا استخدمنا أقطاب نحاس، فإنها تكون **أقطاب فعالة**، وتؤثر على التحليل الكهربائي. يذوب قطب النحاس عند الأنود في المحلول:

$$Cu\,(s) \rightarrow Cu^{2+}\,(aq) + 2e^{-}$$ (يذوب قطب النحاس)

تترسب أيونات النحاس عند الكاثود على هيئة ذرات نحاس أحمر وردي:

$$Cu^{2+}\,(aq) + 2e^{-} \rightarrow Cu\,(s)$$ (فلز نحاس مترسب)

8-2 التطبيقات الصناعية للتحليل الكهربائي
Industrial Applications of Electrolysis

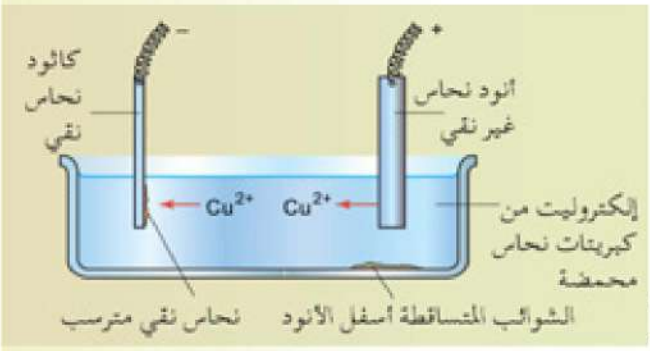
للتحليل الكهربائي تطبيقات صناعية عديدة تتضمن استخلاص الفلزات من خاماتها، وبصفة خاصة الألومنيوم ، وتنقية الفلزات وخصوصًا النحاس.

يستخدم في تنقية النحاس أنود من النحاس غير النقي، وتستخدم صفيحة رقيقة من النحاس النقي ككاثود. ويكون عادة الإلكتروليت محلول كبريتات النحاس (II) المحمضة. يذوب أنود النحاس غير النقي عند سريان الكهرباء، ويتحلل كأيونات نحاس. ولا تذوب الشوائب التي في النحاس، وتتساقط كمادة غليظة القوام ناعمة (كدارة) أسفل الأنود.

وتترسب على الكاثود أيونات النحاس كفلز نحاس نقي (شكل 2-9).

في وحدة التنقية النموذجية، يتم تشغيل عدة آلاف من الخلايا الكهربائية، لمدة أسبوعين. وتزداد أثناء تلك الفترة كتلة كاثود النحاس من 5 كجم إلى أكثر من 100 كجم. ويستخدم النحاس على نطاق واسع في أسلاك الكهرباء، ويكون النحاس المستخدم نقيًّا للغاية.

ويستخدم أيضًا التحليل الكهربائي على نطاق واسع في تصنيع المادة القلوية المهمة هيدروكسيد الصوديوم،التي تنتج من التحليل الكهربائي لماء البحر المركز (انظر الوحدة 2-5 ب) في هذا الكتاب ويلاحظ أن غازي الكلور والهيدروجين اللذين يُنتجان أيضًا أثناء هذا التحليل الكهربائي لهما استخدامات تجارية. ويمكن أخيرًا استخدام التحليل الكهربائي في **الطلاء الكهربائي**.



شكل 2-9 تنقية النحاس

حاول ترتيب زيارة مدرسية لمصنع يستخدم التحليل الكهربائي إما في التنقية بالكهرباء، أو الطلاء بالكهرباء.

هذا النشاط يساعد الطلاب على معرفة ما يدور حولهم.

مراجعة سريعة

تتأثر نواتج التحليل الكهربائي بـ :

تركيز الأيونات

التفريغ الانتقائي لشحنة الأيونات

نوع القطب

جميع الحقوق محفوظة لـ مركز المناهج التعليمية والبحوث التربوية - ليبيا