



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الثالثة

المادة : كيمياء فيزيائية 4

المحاضرة : الرابعة / نظري / د. سعود كده

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z Facebook Group :

كلية العلوم

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

2026

9

السبت: 2026/04/25	مقرر الكيمياء الفيزيائية IV	المحاضرة الرابعة
د. سعود عبد الحليم كده 	الفصل الأول <b>الكيمياء الكهربائية</b> ELECTROCHEMISTRY	قسم الكيمياء السنة الثالثة - الفصل الثاني 2026 - 2025
تتضمن هذه المحاضرة: 5615 كلمة تشمل: 29263 حرف موزعة ضمن: 16 صفحة		

**الهدف التعليمي من المحاضرة الرابعة**

في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:

- ✓ وصف الخلايا الإلكتروليتية (الكهرلية) وعلاقتها بالخلايا الغلفانية.
- ✓ إجراء حسابات مختلفة تتعلق بالتحليل الكهربائي.
- ✓ تعريف التآكل
- ✓ التعرف على أهم الطرق المتبعة في الحماية من التآكل.

جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على الشبكة العنكبوتية



عملية الطلي الغلفاني وهي إحدى تطبيقات التحليل الكهربائي التي سندرسها اليوم

درسنا في المحاضرات السابقة الخلايا الغلفانية أو ما يدعى بالخلايا الفولتية، ووجدنا أن هذه الخلايا تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية وفق تفاعلات عفوية تحدث ضمنها، ووجدنا من أهم تطبيقاتها المدخرات بأنواعها كافة، التي تزودنا بالطاقة اللازمة لتشغيل طيف واسع من الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، في هذه الفقرة سنتطرق لنوع جديد من الخلايا تحول الطاقة الكهربائية إلى تفاعل كيميائي، حيث أن التفاعل في هذه الخلايا غير تلقائي على عكس الخلايا الغلفانية.

كما أنك من المؤكد سمعت بالتآكل وتشاهدة في كثير من الأحيان من حولك، فماذا يعني هذا المصطلح؟

إن التآكل ليس بالمسألة السهلة، إنها مشكلة خطيرة تؤثر على الصحة والاقتصاد، يكفي أن تعلم أن التكلفة الإجمالية للتآكل في العالم كبيرة جداً، حيث تصل الخسائر نتيجة هذه الظاهرة إلى تريليونات الدولارات سنوياً.

هل لاحظت هذه الظاهرة من حولك في محافظة طرطوس؟



في هذه المحاضرة سنركز أيضاً على ظاهرة التآكل من خلال إحدى فقراتها المتنوعة.

#### المحتوى

#### الصفحة

الخلايا الكهرلية (الإلكتروليتية).	47
خلايا التحليل الكهربائي لكوريد الصوديوم المنصهر.	47
خلايا التحليل الكهربائي للماء.	47
خلايا التحليل الكهربائي لكوريد الصوديوم المائي.	48
تطبيقات الخلايا الكهرلية.	49
الطلي الغلفاني.	49
تحضير الصوديوم من مصهور كلوريد الصوديوم.	51
الجوانب الكمية من التحليل الكهربائي.	51
التآكل.	52
الصدأ.	54
أنواع الصدأ.	55
طرائق الحماية من التآكل.	56

يمكن متابعة المادة والاستفادة أكثر من خلال قناة Physical Chemistry IV على تطبيق تلغرام وفق الرابط:



## 10-I - الخلايا الكهربية (الإلكتروليتيّة) Electrolytic Cell

في الخلايا الإلكتروليتيّة (الكهربية) Electrolytic Cells تتسبب الطاقة الكهربية في حدوث تفاعلات كيميائية غير عفوية Nonspontaneous (غير تلقائية) في عملية تعرف بـ التحليل الكهربي Electrolysis

## على سبيل المثال:

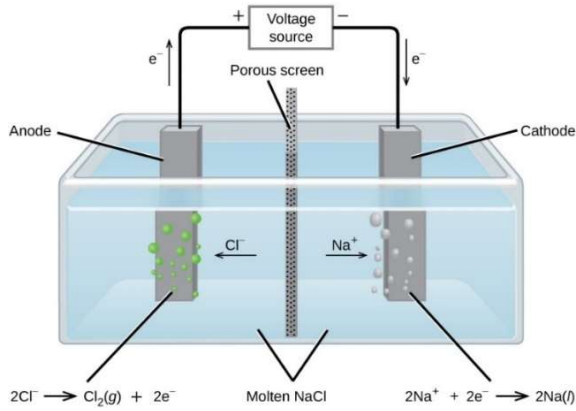
السيارة الكهربائية المشحونة الشكل (I-21) يتم ضمنها تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية في المدخرة (البطارية) عند شحنها، وبمجرد شحن المدخرة يمكن استخدامها لتشغيل السيارة.



الشكل (I-21): نموذج لسيارات تعمل على الشحن الكهربائي، حيث يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية ضمن المدخرة، وبمجرد اكتمال الشحن تعمل المدخرة على تشغيل السيارة.

تتضمن الخلايا الإلكتروليتيّة (الكهربية) نفس المبادئ كما في الخلايا الغلفانية، وهنا سنتطرق لثلاث خلايا تحليل كهربائي إضافة للجوانب الكمية للتحليل الكهربائي.

## 10-I -1- خلايا التحليل الكهربائي لكوريد الصوديوم المنصهر The Electrolysis Cells of Molten Sodium Chloride

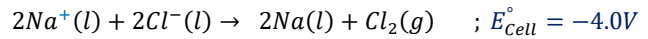
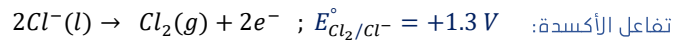


الشكل (I-22): مرور التيار الكهربائي ضمن كلوريد الصوديوم المنصهر يحول المادة إلى معدن الصوديوم وغاز الكلور، حيث يجب أن تكون حذر للمحافظة على فصل النواتج لمنع التشكل التلقائي لكلوريد الصوديوم.

في كلوريد الصوديوم المنصهر، تكون الشوارد Ions حرة الحركة للهجرة إلى أقطاب خلية التحليل الكهربائي (الخلية الكهربية)، يبين الشكل (22-1) مخطط مبسط للخلية المستخدمة لإنتاج معدن الصوديوم وغاز الكلور  $Cl_2$ .

- يعتبر الصوديوم عامل مرجع قوي، هل تعلم لماذا؟
- يستخدم الكلور Chlorine لتنقية المياه Purify Water وفي المطهرات Antiseptics وفي إنتاج الورق (كمادة قاصرة للون).

في خلية التحليل الكهربائي هذه تحصل التفاعلات التالية:



تفاعل الأكسدة والإرجاع الشامل

لاحظ أن كمون الخلية الكلية سالب، وبالتالي التفاعل غير عفوي (غير تلقائي).

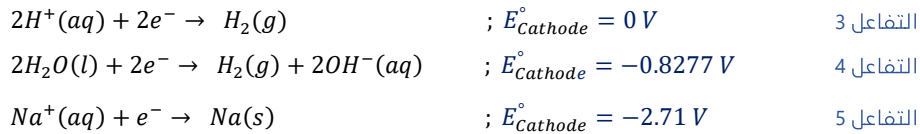
## 10-I -2- خلايا التحليل الكهربائي للماء The Electrolysis Cells of Water

من الممكن فصل الماء إلى غاز الهيدروجين  $H_2$  وغاز الأكسجين  $O_2$  باستخدام طريقة التحليل الكهربائي، حيث تضاف الحموض عادة من أجل زيادة تركيز Concentration شوارد الهيدروجين  $H^+$  في المحلول الشكل (I-23) في الصفحة التالية.

فما هي التفاعلات الحاصلة؟



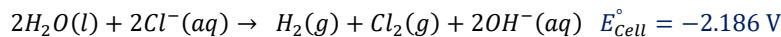
• **التفاعلات الحاصلة على المهبط:**  
نلاحظ حدوث ثلاث تفاعلات إرجاع:



إن التفاعل (5) مستبعد Ruled out لأنه يحتوي على كمون إرجاع سالب كبير، كما أنه تحت ظروف الحالة القياسية، يفضل التفاعل (3) على التفاعل (4)، ولكن أيهما يحدث؟

إن الرقم الهيدروجيني pH لمحلول كلوريد الصوديوم هو (7) أليس كذلك؟

وبالتالي فإن تركيز شوارد الهيدروجين هو ( $1 \times 10^{-7} M$ ) فقط، عند هذه التراكيز المنخفضة يكون التفاعل (3) غير محتمل الحدوث، وإنما الذي يحدث هو التفاعل (4)، فتعطى معادلة التفاعل الكلي بالشكل التالي:



مع استمرار التفاعل، تحل شوارد الهيدروكسيد ( $OH^-$ ) محل شوارد الكلوريد ( $Cl^-$ ) في المحلول، وبالتالي يمكن الحصول على هيدروكسيد الصوديوم NaOH عن طريق تبخير الماء بعد اكتمال التحليل الكهربائي.

يعتبر هيدروكسيد الصوديوم Sodium Hydroxide قيماً في حد ذاته ويستخدم لأغراض كثيرة مثل تنظيف الأفران، وفتحات التصريف، وفي إنتاج الورق Paper والأقمشة Fabrics والصابون Soap.

درسنا بعض أنواع الخلايا الإلكتروليتية (الكهرلثية)، وسنتناول الآن بعض التطبيقات العملية للخلايا الكهرلثية.

#### 11-I - تطبيقات الخلايا الكهرلثية Applications of Electrolytic Cells

لنناقش في هذه الفقرة بعض من تطبيقات الخلايا الكهرلثية وسنبداً بالفقرة التي تحمل الطابع الاقتصادي وهي الطلي الغلفاني، والتي ستكون موضوع جلسة عملية قادمة.

#### 11-I-1 - الطلي الغلفاني The Electroplating

من الاستخدامات المهمة للخلايا الإلكتروليتية (الكهرلثية) هو **الطلاء الكهربائي** (أو ما يسمى الطلاء الغلفاني)، حيث ينتج الطلاء الكهربائي طبقة رقيقة من معدن فوق سطح موصل Conducting Surface.

يستخدم الطلاء الكهربائي لعدة أسباب منها:

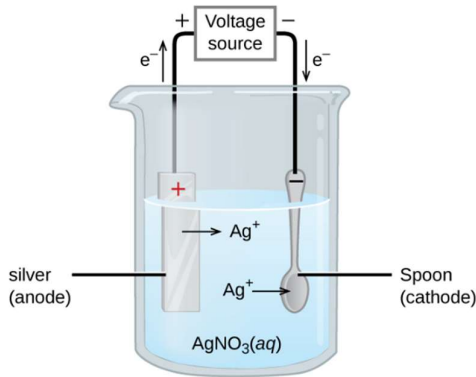
1. جعل الجسم أكثر مقاومة للتآكل.
2. تقوية السطح.
3. إنتاج تشطيب أكثر جاذبية في الصناعات المعدنية.
4. تنقية المعادن.

تستخدم عادة مجموعة من المعادن في الطلاء الكهربائي، مثل الكاديوم والكروم والنحاس والذهب والنيكل والفضة والقصدير، أما المنتجات الخاضعة للطلي الكهربائي فهي متنوعة، تشمل:

- المنتجات الاستهلاكية الشائعة كأدوات المائدة Tableware المطلية بالفضة أو المطلية بالذهب.
- قطع غيار السيارات Automobile Parts المطلية بالكروم.
- المجوهرات Jewelry.

يمكننا الحصول على فكرة عن كيفية عمل ذلك من خلال التحقق من كيفية إنتاج أدوات المائدة المطلية بالفضة.

## هل خطر ببالك كيفية إجراء عملية الطلي الغلفاني؟

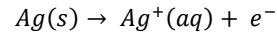


الشكل (25-1): الملعقة Spoon، تصنع من معدن رخيص Inexpensive Metal، متصلة بالنهايات الطرفية السلبية لمصدر جهد وتعمل كمهبط، بينما المصعد هو قطب الفضة، يتم غمر كلا القطبين في محلول نترات الفضة، عندما يمر تيار ثابت عبر المحلول تكون النتيجة الصافية هي إزالة معدن الفضة من المصعد وإيداعه على المهبط.



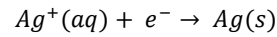
الشكل (26-1): بعض الأواني المنزلية المطلية بالذهب والفضة، لاحظ أننا نستطيع تحديد منطقة الطلاء، ليس شرطاً أن يكون الطلاء كاملاً، وذلك لإضافة مسحة جمالية على القطع، يتم ذلك بتحديد أماكن الطلاء باستخدام مواد تمنع ترسب المعدن على مناطق محددة

الشكل (25-1) المجاور يبين خلية طلي غلفاني، حيث نلاحظ أنها مكونة من قطب موجب (المصعد) من الفضة Silver ويظهر على اليسار، بينما يقع المهبط على اليمين وهو عبارة عن ملعقة مصنوعة من معدن رخيص Inexpensive Metal، يتم غمر كل من الأقطاب الكهربائية في محلول نترات الفضة  $AgNO_3$ ، حيث كلما ازداد الكمون تدفق التيار أكثر، مما يؤدي لفقدان معدن الفضة في المصعد ودخوله المحلول وفق تفاعل نصف الأوكسدة التالي:



لاحظ أن الخلية موصولة بمولد جهد (مدخرة)، لأنها هذه الخلايا تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية (تفاعل كيميائي)، أي أن التفاعل قسري غير تلقائي.

تزداد كتلة المهبط المتمثل بالملعقة مع إيداع شوارد الفضة من المحلول عليه (تشكل طبقة رقيقة من الفضة) وفق تفاعل نصف الإرجاع التالي:



فتكون النتيجة النهائية هي نقل معدن الفضة من القطب الموجب إلى القطب السالب، وعادة ما يتم تحديد جودة القطعة من خلال سماكة الفضة المودعة ومعدل الإيداع Rate of Deposition، وهذا يتعلق بجهد الخلية المطبق، حيث كلما كان الجهد أصغر وزمن الإيداع أكبر كلما حصلنا على طبقة متجانسة.

يتضمن الشكل (26-1) المجاور، بعض المنتجات المطلية كهربائياً بالفضة والذهب، وهي منتجات منزلية تتمتع بجمالية عالية.

## هل تعلم؟

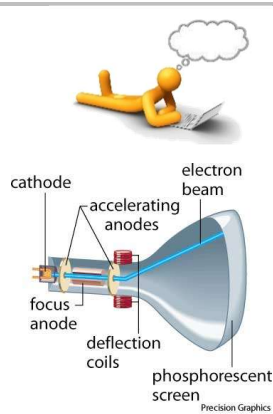
## ثومسون (توماس أديسون) Thomson

أولى التجارب المهمة التي قادت لفهم تركيب الذرة هي تلك التي أجراها العالم الإنكليزي المعروف توماس أديسون، حيث درس التدفق الكهربائي ضمن أنابيب مفرغة جزئياً تدعى:

## أنابيب الأشعة المهبطية Cathode-ray tubes

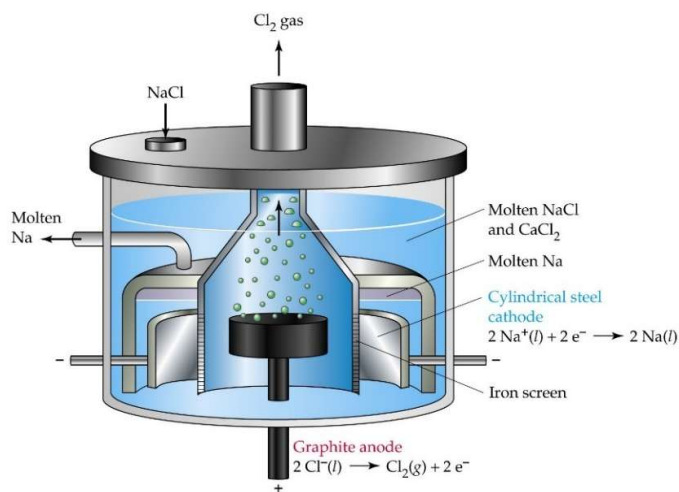
وذلك خلال الفترة بين 1898-1903، فوجد أنه أثناء تطبيق جهد كهربائي عالي Voltage على الأنبوب، فإنه تنتج أشعة تدعى **الأشعة المهبطية Cathode-ray** ولأن هذه الأشعة تصدر عن المسرى السالب وبذات الوقت تنفر من القطب السالب لحقل كهربائي مطبق، فقد افترض ثومسون أن هذه الأشعة عبارة عن عاصفة من الدقائق المشحونة سلبياً والتي تدعى الآن بإسم **الإلكترونات Electrons**، حيث يمثل الشكل المجاور أنبوب الأشعة المهبطية الذي استخدمه ثومسون في دراسته.

الكيمياء علم التجربة والتفسير، اقرأ أكثر تعلم عن الأشياء ما يجعل الحلول أكثر



## 11-I-2- تحضير الصوديوم من مصهور كلوريد الصوديوم Preparation the liquid Sodium from Molten Sodium Chloride

تعتمد هذه الطريقة على ما ورد في خلية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم في الفقرة (I-10-1) في الصفحة 48، حيث نستخدم جهاز كما هو موضح في الشكل (I-27).



الشكل (I-27): مخطط لوحدة إنتاج معدن الصوديوم وغاز الكلور من مصهور ملح كلوريد الصوديوم، حيث يستخدم مصعد من العرافيت يقوم بتجميع غاز الكلور من فتحة في الأعلى، ومهبط من معدن ناقل على شكل حلقة ضمن المصهور وفق ما هو موضح.

تعتمد هذه الطريقة على ادخال مصهور ملح كلوريد الصوديوم NaCl مع ملح كلوريد الكالسيوم CaCl<sub>2</sub> من فتحة أعلى المفاعل، والغاية من إضافة كلوريد الكالسيوم هو لتخفيض درجة انصهار ملح كلوريد الصوديوم من (801 °C) إلى (580 °C)، ولا داعي هنا لفصل الأقطاب عن بعضها البعض لأن التفاعل غير عفوي (غير تلقائي) لأنها خلية كهربيّة، وبالتالي فالتفاعل لا يحدث إلا إذا زدنا النظام بالطاقة الكهربيّة.

كما يجب فحص وجود الماء في مصهور كلوريد الصوديوم لأنه يؤثر على نواتج الأكسدة والإرجاع في كلا القطبين، فكما هو معروف ينحل ملح كلوريد الصوديوم في الماء ويتفكك إلى شاردة الصوديوم Na<sup>+</sup> وشاردة الكلور Cl<sup>-</sup>، وبكل الأحوال ستنجذب شاردة الصوديوم نحو المهبط وتخضع لعملية ارجاع بينما تنجذب شاردة الكلوريد إلى المصعد وتخضع لعملية أكسدة.

أما الماء الزائد عندها يؤدي لتفاعلات تشبه تفاعلات التحليل الكهربائي للماء حيث سيتحرر الهيدروجين والأكسجين على أطراف الأقطاب وفق ما ورد في التحليل الكهربائي للماء.

**نلاحظ** أنه سيتم تجميع الكلور من أعلى المفاعل، بينما سيتم تجميع الصوديوم الذي يطفو نحو الأعلى في وعاء على جانب المفاعل كما هو موضح بالمخطط أعلاه.

## 12-I - الجوانب الكمية من التحليل الكهربائي Quantitative Aspects of Electrolysis

درسنا في الفقرة السابقة تطبيقات التحليل الكهربائي، هذه التطبيقات تتعلق بعدة عوامل لإنجاحها، لعل أهمها شدة التيار المستخدم وزمن المعالجة، لذلك في هذه الفقرة سنعالج العلاقات التي تحدد طريقة المعالجة الأمثل لتلك التطبيقات.

ترتبط كمية التيار المسموح تدفقها في خلية التحليل الكهربائي Electrolytic Cell بعدد مولات الإلكترونات، ويرتبط عدد مولات الإلكترونات بالمواد المتفاعلة، المواد الناتجة، وبالأمثال الستيكومتريّة (الأرقام الكيمائية المستخدمة لإحداث التوازن).

تذكر أن وحدة التيار في الجملة الدولية SI هي الأمبير (A)، والذي يعادل مرور شحنة مقدارها كولوم واحد (كولومب Coulomb) خلال ثانية واحدة (راجع المحاضرة الأولى)، فتعطى الشحنة الكلية (Q) Total Charge بالكولوم وفق ما يلي:

$$Q = I \times t = n \times F$$

حيث:  $t$  الزمن مقدراً بالثانية sec،  $n$  عدد مولات الإلكترونات،  $F$  ثابت فراادي Faraday Constant.

يمكن استخدام مولات الإلكترونات في متطلبات الأمثال الستيكومتريّة، وقد يُطلب أيضاً الوقت اللازم لترسيب (إيداع) Deposit كمية محددة Specified Amount من المعدن، وهذا ما سنتعرف عليه من خلال الأمثلة المحلولة في نهاية هذه المحاضرة.

في ذكرنا لتطبيقات التحليل الكهربائي، وجدنا أن عمليات الطلي الغلفاني تستخدم أحياناً لحماية الأسطح من التآكل، خصوصاً الاسطح المعدنية المعرضة للرطوبة والهواء، في فقرتنا هذه سنعالج مفهوم التآكل، والطرق المستخدمة في عملية الوقاية منه.

## 13-I - التآكل Corrosion

يُعرف التآكل على أنه:

"تدهور المعادن بسبب عملية كهروكيميائية"

يمكن أن تكون مقدرة العمليات الكهروكيميائية Electrochemical Processes على تفكيك المركبات إلى عناصر أو تحويلها إلى مركبات أخرى عملية منتجة Productive، ويمكن أن تكون عملية مدمرة Destructive كما هو الحال على سبيل المثال في عملية تشكل الصدأ Rust على الحديد، والتشوه Tarnish الذي يظهر على الفضة، وهذا الطلاء الأزرق والأخضر الذي يتطور على النحاس، والتي تمثل أمثلة تندرج تحت مسمى التآكل.

التآكل مشكلة خطيرة ومكلفة للغاية Extremely Costly لأنه بسببه قد يحدث:



- انهيار المباني والجسور Bridges.
- تحطم خطوط أنابيب النفط Oil Pipelines.
- يمكن أن تسبب المتلامسات الكهربائية المتآكلة Corroded Electrical Contacts حرائق ومشاكل أخرى.
- قد تؤدي الأدوات الطبية المتآكلة المستخدمة في الجراحة لتسمم الدم blood poisoning.
- يهدد التآكل التخلص الآمن من النفايات المشعة Radioactivity Waste، التي يجب تخزينها في حاويات لعشرات الآلاف من السنين.

## هـ-أم:

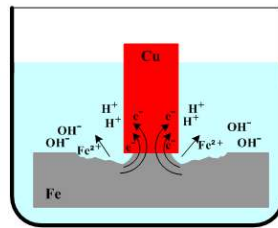
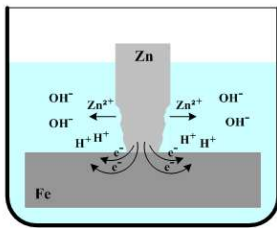
التفاعلات الكهروكيميائية هي المسبب الأساسي لعملية التآكل، يحدث التآكل العام عندما تتأكسد معظم الذرات الموجودة على نفس السطح المعدني أو كلها، مما يؤدي إلى إتلاف السطح بأكمله damaging the entire surface.

وكما نعلم تتأكسد معظم المعادن بسهولة، حيث تميل إلى فقدان الإلكترونات للأكسجين (ومواد أخرى) في الهواء أو في الماء، فعندما يتم ارجاع الأكسجين (يكتسب إلكترونات)، فإنه يشكل أكسيداً مع المعدن.

## ❖ أنواع التآكل Types Of Corrosion

يمكن أن نميز نوعين من التآكل:

1. **التآكل الغلفاني Galvanic Corrosion:** يحدث عندما تكون عملية الأكسدة والإرجاع REDOX على أنواع مختلفة من المعدن في اتصال مع بعضها البعض، كما وجدنا في حالة الخلايا الغلفانية التي درسناها، وهذا ما نلاحظه في المخطط المرفق جانباً.



2. **التآكل الإلكتروليتي Electrolytic corrosion:** هذا النوع من التآكل أكثر شيوعاً في المعدات الإلكترونية Electronic Equipment، حيث يصبح الماء أو الرطوبة محاصرين بين اتصاليين كهربائيين مطبق بينهما جهد كهربائي، مما يؤدي كنتيجة إلى تشكل خلية تحليل كهربائي غير مقصودة An Unintended.

إذا نلاحظ أن الخلايا الغلفانية وخلايا التحليل الكهربائي هي من **مسببات التآكل**.

## على سبيل المثال:

لنأخذ مثلاً اشتهر عالمياً حول ظاهرة التآكل ولنناقش تفسير ما حصل بطريقة علمية.

تمثال الحرية Statue Of Liberty هو علامة بارزة في الولايات المتحدة الأمريكية، يمتاز بارتفاعه والدلالة التي يشير لها (طبعاً وضع في بلد لا تعترف عملياً بدلالته)، هذا التمثال يبدو قوياً ودائماً، ومع ذلك، مثل جميع الأجسام المعدنية تقريباً يمكن أن يصبح غير مستقر، لأنه يتفاعل مع المواد الموجودة في بيئته ويتدهور Deteriorates، وهنا نلاحظ حالتين:

1. تسبب التآكل داخل التمثال في أضرار جسيمة على مر السنين، حيث كان إطاره الحديدي وجلده النحاسي بمثابة أقطاب لخلية كلفانية ضخمة، مما أدى لصدأ نصف الإطار تقريباً بحلول عام 1986 في الذكرى المئوية للتمثال.
2. في بعض الأحيان يكون هذا التآكل غير ضار Harmless أو حتى مفيد، فطبقة صدأ النحاس المخضرة Greenish Patina والتي تميل أحياناً للون الأزرق التي تغطي الجلد النحاسي للتمثال، تحمي المعدن الموجود تحتها من أضرار الطقس وهذا ما نلاحظه من خلال الشكل (I-28).



الشكل (I-28):

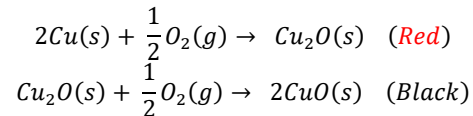
(a) تم تغطية تمثال الحرية بجلد نحاسي، وكان في الأصل بني اللون كما هو موضح في الصورة المرفقة.  
(b) أدى التعرض للعناصر إلى تشكيل طبقة من صدأ النحاس (Patina) الأزرق والأخضر الذي نشاهده اليوم.

عندما تم تسليم هذا التمثال لأول مرة من فرنسا لم يكن مظهره أخضر، بل كان بني اللون "نحاسي".

### كيف تغير لون التمثال؟

كان التغيير في المظهر نتيجة مباشرة للتآكل، فالنحاس الذي هو المكون الأساسي Primary Component للتمثال خضع ببطء لعملية الأكسدة من قبل الهواء، لنوضح ذلك مع المراحل التي رافقت تلك الحقبة من الزمن.

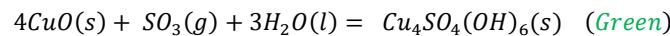
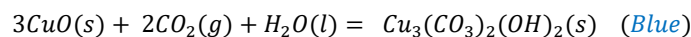
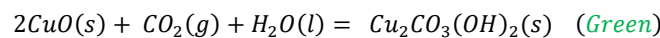
تحدث تفاعلات الأكسدة والإرجاع لمعدن النحاس في البيئة المحيطة من خلال عدة مراحل (خطوات)، حيث يتأكسد في البداية معدن النحاس إلى أكسيد النحاس الأحادي  $Cu_2O$  ذو اللون الأحمر، ثم بعد ذلك إلى أكسيد النحاس الثنائي  $CuO$  ذو اللون الأسود، وفق التفاعلات التالية:



إذا يجب أن يتحول لون تمثال الحرية إلى الأسود، فلماذا تحول للون الذي نشاهده اليوم؟

إن الفحم Coal غالباً ما يحتوي على نسبة عالية من الكبريت، وقد استخدم الفحم على نطاق واسع في أوائل القرن العشرين للحصول على الطاقة عن طريق حرقه، مما زاد من تراكيز نواتج الاحتراق في الجو، فماذا نتج عن ذلك؟

تفاعل كل من ثلاثي أكسيد الكبريت Sulfur Trioxide وثنائي أكسيد الكربون Carbon Dioxide والماء مع أكسيد النحاس  $CuO$  لتشكيل معقدات ملونة وفق التفاعلات التالية:



إن تشكل هذه المركبات الثلاث (المعقدات) هي المسؤولة عن صدأ النحاس "الباتينا" Patina المميز باللون الأخضر المزرق الذي نراه اليوم، وخلق طبقة واقية Protective Layer على السطح مما يمنع المزيد من التآكل في الطبقة النحاسية (جلد النحاس Copper Skin)، وهو الجواب على السؤال:

بما أن التمثال طوال هذه الأعوام يخضع لعملية التآكل هذه، لماذا لم ينهار بشكل كلي؟

### نتيجة:

تشكيل الطبقة الواقية هو شكل من أشكال التخميل Passivation (الحماية من التآكل).

من خلال المناقشة السابقة، استطعنا تفسير ظاهرة عامة بشكل علمي ومنطقي، وهو أساس التفكير العلمي الذي يجب أن تتمرن عليه عزيزي الطالب.

لعل المثال الأكثر شهرة على التآكل هو تشكُّل الصدأ Rust، لتتعرف عليه في هذه الفقرة.

### Rust الصدأ 13-I-1

يعرف معظمنا الصدأ على أنه طبقة قشرية بنية ضاربة إلى الحمرة Reddish-Brown Flaky تتوضع على المعدن، ولا نفكر في شيء أكثر من ذلك.

**الصدأ** هو المصطلح الشائع الاستخدام للتآكل وأكسدة الحديد وسبائكها، مثل الفولاذ Steel، ومن الناحية التقنية هو أكسيد الحديد (III) المائي والمعروف بإسم أكسيد الحديد (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، لأنه يحدث عندما يتفاعل الحديد مع الأكسجين والماء، ويُعرف هذا التفاعل بالأكسدة Oxidizing.

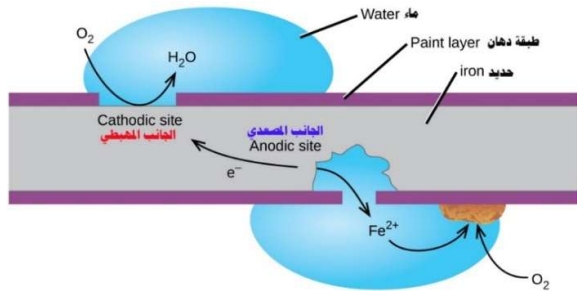
### على سبيل المثال:

إذا تُركت قطعة من الحديد لفترة طويلة بما فيه الكفاية، مع تعرضها للماء والأكسجين، فإن صدأها أمر لا مفر منه Inevitable، قد يستغرق الأمر أياماً، أسبوعاً، شهوراً، أو حتى سنوات حسب شدة التعرض، ولكنها ستصدأ إذا لم تكن محمية بأي شكل من الأشكال.

هناك مجموعة من العوامل التي يمكن أن تساهم التغيرات فيها إلى زيادة عملية الصدأ، نذكر منها:

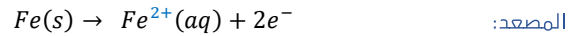
- ❖ التغيرات في درجة الحرارة Temperature.
- ❖ زيادة الرطوبة Humidity (زيادة الرطوبة في الهواء).
- ❖ العناصر الجغرافية Geographical Elements (القرب من البحر، المواقع التي تشهد العواصف Windy خصوصاً العواصف المطرية).
- ❖ البيئات شديدة الملوحة Heavily Salty Environments، مثل القرب من البحر، والذي يقاوم الأمر سوءاً بسبب حقيقة أن الملح يمكن أن يزيد من سرعة عملية التفاعل.

إذا يصدأ الحديد عندما يتعرض للأكسجين والماء، حيث تظهر الخطوات الرئيسية لصدأ الحديد من خلال الشكل (I-29) والتي تنطوي على ما يلي:



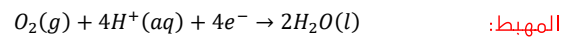
الشكل (I-29): بمجرد خدش الطلاء على سطح الحديد المطلي، يحدث التآكل ويبدأ الصدأ في التكوين. يتم زيادة سرعة التفاعل التلقائي بوجود الإلكترونات مثل كلوريد الصوديوم المستخدم على الطرق لإذابة الجليد والتلج أو في المياه المالحة.

1. بمجرد تعرض الحديد للجو يتأكسد بسرعة وفق ما يلي:



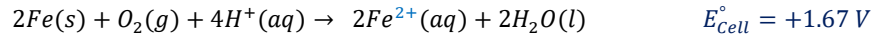
$$E_{Fe^{2+}/Fe}^{\circ} = -0.44 V$$

2. ترجع الإلكترونات الأكسجين في الهواء في المحاليل الحمضية:



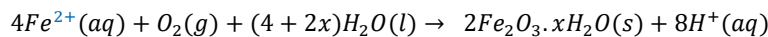
$$E_{O_2/O_2^{-}}^{\circ} = +1.3 V$$

3. فيكون التفاعل الكلي:



تفاعل الأكسدة والإرجاع الشامل

4. كما ذكرنا، ما نسميه الصدأ هو عبارة عن أكسيد الحديد المائي، والذي يتشكل عندما تتفاعل شوارد الحديد الثنائية بشكل أكبر مع الأكسجين:



عدد جزيئات الماء متغير لذلك يتم تمثيله بـ (x).

نلاحظ في الشكل أعلاه أن الحديد محمي بطبقة دهان Paint Layer، ولكن في الأماكن التي يوجد فيها خدوش في هذه الطبقة، حصلت عملية أكسدة الحديد وتشكُّل الصدأ، فظهور أي عيب في طبقة الحماية يؤدي إلى ظهور بؤرة لتشكُّل الصدأ يمكن أن تمتد إلى داخل المعدن.

**هـ\_\_\_\_\_ام:**

على عكس الباتينا (صدأ النحاس) على النحاس، فإن تشكيل الصدأ على الحديد لا يخلق طبقة واقية Protective Layer، لذلك يستمر تآكل الحديد بينما ينكسر الصدأ ويكشف الحديد النقي للجو ثانية، والحل لهذه المشكلة يكون بحماية المعدن بطرق مختلفة كما سنرى بعد قليل.

**13-I -1-1- أنواع الصدأ Types of Rust**

لا يوجد نوع واحد فقط من الصدأ، هناك في الواقع ثلاثة أنواع مختلفة من الصدأ تختلف عن بعضها البعض بكون أحدها أكثر شيوعاً من الآخر، وجميع هذه الأنواع يمكن منعها بالوقاية الصحيحة والطريقة المناسبة لمعالجة التآكل، يمكن إيجاز هذه الأنواع بما يلي:

**الحفر وتآكل التجويف Pitting and Cavity Corrosion**

نوع من الصدأ يحدث على الفولاذ غير المحمي المستخدم في البنية التحتية Infrastructure، يمكن للحفر الناتجة أن تقلل بسرعة من قوة وسمك قطعة من المعدن، وهي تختلف من كونها ضيقة Narrow وعميقة Deep إلى أوسع Wider وضحلة Shallow، وهو ما لاحظناه من خلال الشكل (29-I) في الصفحة السابقة.

يؤثر هذا النوع من التآكل على المعادن والسبائك مثل الفولاذ، الحديد، الألمنيوم وغيرها، وعادة ما يقتصر على مناطق محددة، حيث يخرق ويهاجم بسرعة ويصعب اكتشافه، وغالباً يحدث هذا بشكل شائع عندما تتضرر طبقة الطلاء الخاملة Passive Coating Layer فيزيائياً مثل حدوث خدش بها، أو تتعرض لهجوم كيميائي مما يخلق نقطة ضعف، حيث يهاجم الماء أو المحاليل المسببة للتآكل نقطة الضعف في المعدن.

لنشرح الآلية التي يحدث فيها الصدأ بهذه الطريقة:

حفرة التآكل هي تجويف أو ثقب أو حفرة تتشكل في منطقة أو نقطة صغيرة من المعدن، يتم حجب Obscured الحفرة بكمية صغيرة من منتج التآكل (الصدأ) على السطح، حيث عندما يحدث التفاعل المهبطي Cathodic Reaction في منطقة كبيرة (منطقة الطلاء) على تفاعل مصعدي Anodic Reaction في منطقة صغيرة (المعدن المكشوف نتيجة الخدش)، تتشكل حفرة أو تجويف أو ثقب صغير، وتحدث الأكسدة في المعدن حتى في حالة عدم وجود أكسجين.

هذه العملية تؤدي إلى تحميل الطلب العالي للإلكترونات من قبل المهبط الكبير على المصعد الصغير، مما يؤدي لتآكل حفري شديد يحدث بسرعة، بحيث تظهر فقط بقعة صغيرة من الصدأ على السطح بينما يكون الضرر الكبير في عمق الهيكل المعدني كما في الشكل (29-I).

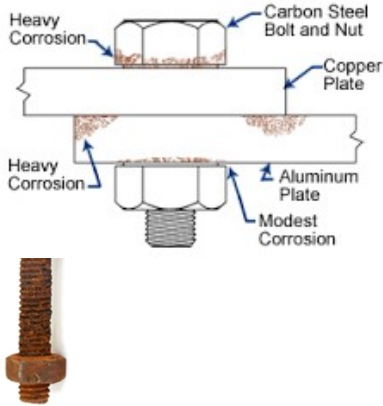
يكون تآكل التجويف قوياً عندما يحتوي المحلول الموجود على السطح المعدني على شوارد الكلوريد، الهيوكلوريت، أو البروميد، كما يمكن لفلوريدات اليود أن تساهم في ذلك.

ما هي أسباب هذا النوع من التآكل الأكثر شيوعاً؟

تشققات Cracks في الطبقة الواقية - خدوش Scratches صغيرة - إجهاد Stress غير منتظم - تدفق السوائل المضطرب Turbulent - طلاء واقية غير موحد - هجوم كيميائي على الطلاء الواقية.

ما هي المعادن الأكثر عرضة للتآكل وفق هذا النوع؟

ستانلس ستيل - الكروم - الحديد غير المطلي - الزئبق - الكوبالت - الألومنيوم - النحاس - السبائك المرتبطة Associated alloys.

**التآكل الملامس Contact Corrosion**

يحدث هذا النوع عندما يتلامس الفولاذ المقاوم للصدأ مع قطعة معدنية أخرى تصدأ، بسبب ترسبات أكسيد الحديد عند نقطة التلامس، ويمكن أن يستمر في الانتشار بعد هذه النقطة، ويندرج تحت التآكل الغلفاني كما هو موضح في الشكل المرفق.

**تآكل الشقوق Crevice corrosion**

يحدث هذا النوع من الصدأ (على سبيل المثال) في الفجوة بين الصامولة Nut والبرغي Bolt، أي يحدث في الأماكن الضيقة (من هنا جاء الاسم)، ويمكن أن يصنف ضمن التآكل الكهرليتي.

**13-I-2- طرائق الحماية من التآكل Corrosion Protection Methods**

يمكن منع التآكل من خلال إدراك ومعرفة الظروف التي تساهم في التآكل، كما أن القرار الصحيح بشأن نوع المعدن الذي سيتم استخدامه يلعب دوراً كبيراً في التقليل من عملية التآكل أو منعها، ويمكن تصنيف تقنيات منع التآكل Corrosion Prevention وفق المجموعات التالية:

**13-I-2-1-1-2- مثبطات التآكل Corrosion Inhibitors CI**

مثبط التآكل هو مذيب كيميائي Chemical Solvent يتم استخدامه في بيئة معينة لتقليل معدل تآكل المعدن الذي يتعرض لتلك البيئة المحددة Specific Environment مثل الهواء أو الماء.

كما يمكن الإشارة إلى المركب الكيميائي الذي يمكن إضافته إلى السوائل أو الغازات واستخدامه لتقليل معدل التآكل لمادة معينة (عادةً تكون معدن) على أنه **مثبط تآكل** (مانع تآكل).

يمكن تصنيف مثبطات التآكل إلى أربعة أنواع عامة، اعتماداً على الطريقة التي تؤثر بها على المعدن لمنع التآكل:

**1. المثبطات المهبطية Cathodic Inhibitors**

تعمل هذه المثبطات على إبطاء التفاعل المهبطي أو يمكن أن تعمل على تشكيل رواسب انتقائية selectively precipitate في المناطق المهبطية للمعدن من أجل تقييد الانتشار Restrict The Diffusion على السطح المعدني للعناصر المتأكلة.

**على سبيل المثال:** شوارد الكبريتيت Sulfite وثنائي سلفيت Bisulfite والتي يمكن أن تتفاعل مع الأكسجين لتكوين الكبريتات Sulphates. مثال آخر للمثبط المهبطي هو تفاعل الأكسدة والإرجاع المحفز بواسطة النيكل.

**2. المثبطات المصعدية Anodic Inhibitors**

تشكل هذه الأنواع من مثبطات التآكل طبقة أكسيد وقائية Preventive رقيقة على سطح المعدن، حيث يؤدي التفاعل إلى تحول مصعدي كبير عن طريق تحويل السطح المعدني إلى منطقة تخميل Passivation Area التي تساعد في تقليل تآكل المعدن.

**على سبيل المثال:** الكرومات Chromates والنترينات Nitrites والأورثوفوسفات Orthophosphates والموليبيدات Molybdates.

**3. مثبطات التآكل المتطيرة Volatile Corrosion Inhibitors**

تستخدم هذه المثبطات لوقف تآكل أنابيب المكثف Condenser Tubes في الغلايات، ويشار إليها أيضاً باسم مثبطات طور البخار Vapor Phase Inhibitors أو VPIs، تعمل هذه المثبطات على تغيير درجة الحموضة في الغلاف الجوي الخارجي بحيث تصبح أقل حمضية من أجل التحكم في التآكل.

**على سبيل المثال:** المورفولين Morpholine (C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>NO) والهيدرازين Hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) والتي تستخدم للتحكم في تآكل أنابيب المكثف في الغلايات.

## 4. مثبطات مختلطة Mixed Inhibitors

تشكل هذه الأنواع من مثبطات التآكل أيضاً طبقة رقيقة على سطح المعدن، تعمل على تقليل تفاعلات الشوارد الموجبة وكذلك تفاعلات الشوارد السالبة، عن طريق تكوين راسب على سطح المعدن.

**على سبيل المثال:** السيليكات Silicates والفوسفات Phosphates التي تستخدم كمنعمات Softeners للمياه لإيقاف الصدأ الناتج عن الماء.

## 13-I-2-2- الحماية الواقية Protective coating

إحدى الطرق للحفاظ على المعادن من التآكل هو الحفاظ على طبقة الطلاء Paint layer، حيث تمنع طبقة الطلاء الماء والأكسجين اللازمين لتكوين الصدأ من ملامسة المعدن، وطالما بقي الطلاء سليماً فإن المعدن محمي من التآكل.

يمكن أيضاً استخدام الطلاء الواقية لتوفير الحماية للمعادن من عوامل معينة مثل التأثير الضار للغازات في البيئة المحيطة، ويمكن أن تكون هذه الطلاءات مسحوقاً Powder أو قابلة للذوبان في الماء Water Soluble أو طلاء ايبوكسي Epoxy.

## 13-I-3-2- الحماية الغلفانية Galvanic coating

يستخدم الحديد المطلي بالزنك أو الحديد المغلفن Galvanized Iron كطريقة مختلفة للحماية من التآكل، حيث يتأكسد الزنك بسهولة أكثر من الحديد، لأن الزنك Zinc لديه كمون إرجاع أقل لذلك يعتبر معدناً أكثر نشاطاً، وهكذا حتى لو خدش طلاء الزنك فإن الزنك سوف يتأكسد قبل الحديد.

وأحياناً نشاهد الأدوات المنزلية المطلية بالكروم أو الفضة أو الذهب، ليس فقط المقصود منها الناحية الجمالية، وإنما أيضاً حماية المعدن من التآكل.

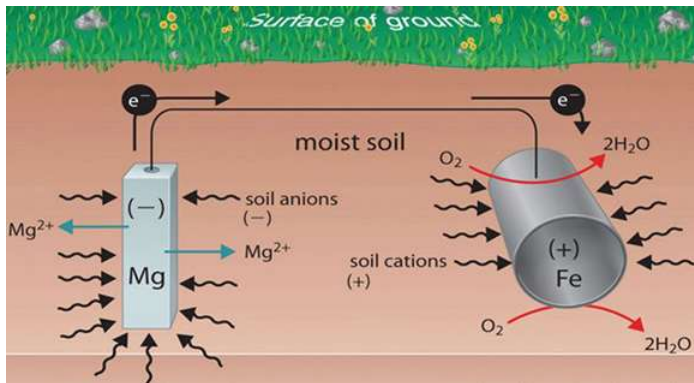
## 13-I-4-2- تشكيل السبائك Alloying

غالباً ما تستخدم هذه الطريقة لحماية الحديد تتم عبر تشكيله سبائك مع المعادن الأخرى، حيث يعتبر الفولاذ المقاوم للصدأ Stainless Steel عبارة عن سبيكة حديد مع قليل من الكروم في الغالب، حيث يميل الكروم Chromium إلى التجمع بالقرب من السطح ليشكل طبقة أكسيد تحمي الحديد.

## 13-I-5-2- الحماية المهبطية Cathodic Protection

يتم استخدام أنظمة الحماية المهبطية على نطاق واسع في حالات التآكل الغلفاني، وغالباً ما تستخدم عندما يكون معدنان مختلفان Dissimilar في بيئة تآكل أو كهربية مثل مياه البحر، حيث تعتمد الطريقة على تحويل المواقع المصعدية غير المرغوب بها Undesirable على سطح المعدن إلى مواقع مهبطية، أي جعل المعدن المراد حمايته مهبطاً في خلية غلفانية.

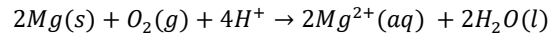
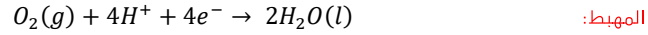
**على سبيل المثال:** يمكن منع صدأ خزانات وأنابيب تخزين الحديد تحت الأرض أو تقليلها بشكل كبير عن طريق وصلها بمعدن أكثر نشاطاً مثل الزنك أو المغنيزيوم Magnesium الشكل (30-I).



الشكل (30-I): إحدى الطرق لحماية أحواض التخزين المصنعة من الحديد تحت الأرض هي من خلال الحماية المهبطية، باستخدام معدن نشط مثل الزنك أو المغنيسيوم من أجل المصعد بشكل فعال يجعل خزان التخزين هو المهبط مما يمنع من التآكل (الأكسدة).

تستخدم الحماية المهبطية أيضاً لحماية الأجزاء المعدنية في سخانات المياه، وتسمى المعادن الأكثر نشاطاً (ذات كمونات الإرجاع الأخفض) بـ **المصاعد الضحية** Sacrificial Anodes (أي القربان) لأنها تُستهلك عن طريق تآكلها Corrode من خلال تأكسدها في القطب الموجب.

عند مراقبة المصاعد بشكل صحيح واستبدالها بشكل دوري، يمكن تمديد العمر المفيد Useful Lifetime لخزان الحديد إلى حد كبير، في هذه الحماية تحدث التفاعلات التالية:



### نتيجة:

الحماية المهبطية هي طريقة لحماية المعدن باستخدام مصعد ضحية، وبالتالي المعدن الذي يجري حمايته يستخدم بمثابة المهبط، وهكذا لا يتأكسد (يتآكل).



## ماذا كانت؟

(دُرست في الكيمياء العامة)

الكتل الذرية Atomic Mass

وضع النظام الحديث للكتل الذرية عام 1961، وهو يعتمد على الكربون النظير ( $^{12}C$ ) كمعيار، في هذا النظام:

يملك الكربون كتلة مكونة من 12 وحدة كتلة ذرية amu، وتعطى كتل جميع الذرات الأخرى نسبة لهذا المعيار. amu: Atomic mass Unit

### مثال:

عندما تم تحليل كلاً من الكربون  $^{12}C$  و  $^{13}C$  في جهاز التحليل الطيفي الذري، وجد أن نسبة كتلة هذين العنصرين ( $^{13}C/^{12}C$ ) هي (1.0836129)، وبما أن الكتلة الذرية للكربون  $^{12}C$  تحدد كـ (12 amu) لذلك بالاعتماد على هذا المقياس يكون لدينا:

$$^{13}C/12 = 1.0836129 \rightarrow ^{13}C = 12 \times 1.0836129$$

$$^{13}C = 13.003355 \text{ amu}$$

وهي الكتلة الذرية للكربون النظير  $^{13}C$ .

هذه الفقرة خاصة بمفردات درستها سابقاً وتحتاجها الآن ولاحقاً

### عزيزي الطالب:

أنت ككيميائي يجب أن تستغل معرفتك العلمية في تفسير الظواهر المحيطة بك، واقتراح الحلول لمعالجة المشاكل التي تُورق من حولك، الأمر ليس صعباً، كل ما تحتاجه أن تطبق معرفتك النظرية في إبداع عملي، وال فقرات السابقة أوضحت الكثير من الجوانب العملية في الكيمياء لخلق الكثير من الأفكار والحلول لك ولمجتمعك.



لنتنقل الآن لبعض الأمثلة التوضيحية.

**مثال توضيحي (I-9):**

(هذا المثال يدعم فكرة تحويل كمية التيار إلى مولات الإلكترونات)

في إحدى عمليات الطلاء الكهربائي بالفضة، تم تمرير تيار شدته (10.23 A) خلال خلية كهروليتيه خلال ساعة واحدة فقط، ما هو عدد مولات الإلكترون التي عبرت خلال الخلية؟

ما هي كتلة الفضة التي تم إيداعها على المهبط من محلول نترات الفضة؟

**الحل:**

يمكن استخدام ثابت فراادي F لتحويل الشحنة الكلية Q إلى عدد مولات الإلكترون n، وكما نعلم فإن الشحنة هي جداء التيار في الزمن، لذلك نجد:

$$n = \frac{Q}{F} = \frac{I \times t}{F} = \frac{10.23 \text{ C} \times 1 \text{ Hr} \times \frac{60 \text{ min}}{\text{Hr}} \times \frac{60 \text{ sec}}{\text{min}}}{96485 \text{ C/mol } e^-} = \frac{36830 \text{ C}}{96485 \text{ C/mol } e^-} = 0.3817 \text{ mole } e^-$$

من نص المسألة، فإن المحلول يحوي نترات الفضة  $AgNO_3$ ، لذلك فإن التفاعل على المهبط يتضمن 1 mole من الإلكترونات لكل 1 mol من الفضة Silver.



وبما أن الكتلة الذرية Atomic Mass للفضة هي (107.9 g/mole) لذلك:

$$\text{mass Ag} = 0.3817 \text{ mol } e^- \times \frac{1 \text{ mol Ag}}{1 \text{ mol } e^-} \times \frac{107.9 \text{ g Ag}}{1 \text{ mol Ag}} = 41.19 \text{ g Ag}$$

تحقق من إجابتك:

من الأمثال الستيكومترية نجد أن مول من الإلكترون سينتج مول من الفضة، التفاعل يتضمن أقل من نصف مول من الإلكترون كما يتضمن أقل من نصف مول من الفضة الناتجة، وبالتالي الحل لديك صحيح.

**مثال توضيحي (I-10):**

(هذا المثال يدعم فكرة تحويل كمية التيار إلى مولات الإلكترونات)

لنفرض أنه طلب منك في إحدى التطبيقات العملية ترسيب طبقة سماكتها (0.010 mm) من الكروم Chromium على جزء ذي مساحة إجمالية قدرها (3.3 m<sup>2</sup>) انطلاقاً من محلول يحتوي على شوارد الكروم الثلاثية (III)، ما المدة التي تستغرقها عملية ترسيب طبقة الكروم إذا كان التيار المستخدم هو (33.46 A)، علماً أن كثافة الكروم هي (7.19 g/cm<sup>3</sup>).

**الحل:**

إن متطلبات هذه المسألة تتضمن عدد من المواضيع التي تمت تغطيتها في وقت سابق، فما هي الخطوط العريضة لما يجب القيام به هنا؟

- ✓ إذا أمكننا تحديد الشحنة الكلية، فإن الزمن المطلوب هو فقط ناتج قسمة الشحنة على التيار المستخدم.
- ✓ الشحنة الكلية يمكن الحصول عليها من كمية الكروم المطلوبة والأمثال الستيكومترية للتفاعل.
- ✓ يمكن الحصول على كمية الكروم المطلوبة باستخدام الكثافة وحجم الكروم المطلوب.
- ✓ حجم الكروم المطلوب هو سماكة Thickness طبقة الكروم المطلوبة مضروبة بمساحة القطعة.

لذلك يكون الحل وفق خطوات، مع الانتباه جيداً والاعتناء بالوحدات المستخدمة.

حجم Cr المطلوب هو جداء السماكة في مساحة المنطقة المطلوبة، وبالتالي إن حجم Volume طبقة الكروم المطلوبة (V):

$$V = (0.010 \text{ mm} \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}}) \times (3.3 \text{ m}^2 \times \frac{10000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}) = 33 \text{ cm}^3$$

لاحظ أننا استخدمنا  $\text{cm}^3$  (السنتمترات المكعبة) لأنها تطابق وحدة الحجم المستخدمة في الكثافة Density، إذا كمية الكروم Cr هي:

الكتلة = الحجم × الكثافة

$$m = 33 \text{ cm}^3 \times \frac{7.19 \text{ g}}{1 \text{ cm}^3} = 237 \text{ g Cr}$$

لنحسب عدد مولات الكروم المطلوبة:

$$\text{mol Cr} = 237 \text{ g Cr} \times \frac{1 \text{ mol Cr}}{52.00 \text{ g Cr}} = 4.56 \text{ mol Cr}$$

وبما أن المحلول يحوي شوارد الكروم الثلاثية، إذاً كل مول من الكروم يحتاج 3 مول من الإلكترونات، أليس كذلك؟

(حاول كتابة معادلة التفاعل فتكتشف ذلك)

إذا بناء على ذلك يمكن حساب الشحنة الكلية Total Charge وفق ما يلي:

$$Q = 4.56 \text{ mol Cr} \times \frac{3 \text{ mol } e^-}{1 \text{ mol Cr}} \times \frac{96485 \text{ C}}{1 \text{ mol } e^-} = 1.32 \times 10^6 \text{ C}$$

وبالتالي فإن الزمن المطلوب يعطى وفق ما يلي:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{1.32 \times 10^6 \text{ C}}{33.46 \text{ C/s}} = 3.95 \times 10^4 \text{ s} = 11.0 \text{ hr}$$

تحقق من إجابتك:

في متطلبات طويلة كهذه، من المحتمل ألا يكون اختبار واحد كافياً، تعطي كل خطوة من الخطوات السابقة أعداداً معقولة (يجب أن تعيد النظر إذا كان العدد غير منطقي)، ومن المحتمل أن تكون الأمور صحيحة بالانتباه جيداً إلى تحويلات الواحدة ورياضيات الأمثال الستوكومترية.

**مثال غير محلول (8-1):**

يمكن تشكيل معدن الألمنيوم Aluminum من شوارد الألمنيوم اعتماداً على التحليل الكهربائي.

1. ما هو نصف التفاعل الحاصل على المهبط؟
2. ما هي كتلة الألمنيوم التي يمكن استردادها إذا مررنا تيار شدته  $(2.5 \times 10^3 \text{ A})$  خلال المحلول لمدة 15 min؟
3. هل العائد هو 100%؟

**الحل:**

$$7.77 \text{ mol Al} = 210.0 \text{ g Al}$$

**مثال غير محلول (9-1):**

ما هو مقدار الزنك Zinc المطلوب لغلقة (تشكيل طبقة راسية) الجزء العلوي من صفيحة حديد أبعادها  $(3.00 \text{ m} \times 5.50 \text{ m})$  بسماكة مقدارها  $(0.100 \text{ mm})$  من الزنك؟

إذا كان الزنك يأتي من محلول نترات الزنك  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ، وشدة التيار هي  $(25.5 \text{ A})$ ، ما هو الزمن الذي تستغرقه عملية غلغنه Galvanize الجزء العلوي من الحديد؟

كثافة الزنك هي  $(7.140 \text{ g/cm})$ .

**الحل:**

$$(231 \text{ g}) \text{ من الزنك وتتطلب زمن مقدراً } (446 \text{ min}).$$

## المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

### Key Concepts and Summary

بدأنا هذه المحاضرة بمفهوم الخلايا الكهروكيميائية والتي تعتبر عكس الخلايا الغلفانية من حيث آلية العمل، حيث تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية من خلال تفاعلات موجهة غير تلقائية، وتناولنا مجموعة من الأمثلة عليها مثل خلايا التحليل الكهربائي، كما تناولنا أهم تطبيقات هذا النوع من الخلايا من خلال عملية الطلي الغلفاني كمثال عليها، ووجدنا أن الطلي يحقق إضافة إلى الناحية الجمالية حماية للمعادن من التآكل نتيجة الظروف المحيطة.

ثم تناولنا مفهوم التآكل ووجدنا أنه نتيجة تشكل خلايا غلفانية أو كهروكيميائية في البيئة، وعرفناه بأنه تدهور المعدن الناجم عن عملية كهروكيميائية، ومن خلال هذا المفهوم عرضنا بعض أنواع التآكل ووجدنا أن بعضه مفيد حيث يعطي طبقة حماية للمعادن التي تحتها، وتشكل طبقة الباتينا على النحاس، وأغلبه ضار للغاية مثل عمليات الصدأ التي تطرأ على الحديد ومعادن أخرى.

في نهاية المحاضرة سلطنا الضوء على أهم الطرق المتبعة للحماية من التآكل، ووجدنا أن كل طريقة تعتمد على المعدن المراد حمايته والطبيعة المحيطة به، ومن أمثلة طرق الحماية التي ناقشناها هي طريقة الحماية المهبطية التي تعتمد على تغيير طبيعة المعدن التفاعلية بجعله مهبطاً عوض أن يكون مصعداً، وذلك عن طريق استخدام معدن آخر نعتبره مصعداً ضحية للحماية.

هذا موجز مدرس المقرر، الأهم منه هو موجزك عزيزي الطالب بعد قراءة المحاضرة ومعرفة أهم الأفكار التي وردت فيها وتطبيقاتها.

-- نهاية المحاضرة --

في المحاضرة القادمة يوم السبت تاريخ 2026/05/02 ستتعرف إلى عناوين متعددة ضمن فصل جديد منها:

- ✓ تعريف الكهروكيميائية وأنواعها وبعض المصطلحات المرتبطة بها.
- ✓ التمييز بين الكهروكيميائية القوية والكهروكيميائية الضعيفة.

أعدت هذه المحاضرة وفق قواعد الجودة العالمية لمناهج التدريس، كما تم الاستعانة في إعداد هذه المحاضرة بجامعة (جورج واشنطن - الأرز - البينوي) في الولايات المتحدة.

د. سعود عبد الحليم كده



مكتبة  
A to Z