



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الثالثة

٩



المادة : كيمياء فизيائية ٤

المحاضرة : الرابعة/نظري/د . سعود

{{{ A to Z مكتبة }}}  
A to Z Library

مكتبة A to Z Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

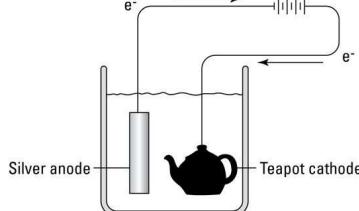


0931497960



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

الأربعاء: 07/05/2025	<b>الكيمياء الفيزيائية ٧</b> <b>الفصل الأول</b> <b>الكيمياء الكهربائية</b> <b>ELECTROCHEMISTRY</b>	<b>المحاضرة الرابعة</b> <b>قسم الكيمياء</b> <b>السنة الثالثة - الفصل الثاني</b> <b>2025 - 2024</b>
د. سعود عبد الحليم كده PHYSICAL CHEMISTRY IV 2024-2025 (Dr. Saud KEDA)	19 صفة حرف موزعة ضمن: 33183	تتضمن هذه المحاضرة: 6396 كلمة تتضمن:

الهدف التعليمي من المحاضرة الرابعة	
<p>في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ وصف الخلايا الإلكترولية (الكهربائية) وعلاقتها بالخلايا العلقمائية.</li> <li>✓ إجراء حسابات مختلفة تتعلق بالتحليل الكهربائي.</li> <li>✓ تعريف التآكل</li> <li>✓ التعرف على أهم الطرق المتبعة في الحماية من التآكل.</li> </ul> <p>جميع الحقوق محفوظة لاصحاحها من حيث الاقتباس والصور على النسخة المكتوبة</p>	 <p>عملية الطلي الغلفاني وهي احدى تطبيقات التحليل الكهربائي التي ستدرسها اليوم</p>

درستنا 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 المدخلات بأنواعها كافة التي تزودنا بالطاقة الالزامية 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 بالتأكل وتشاهدته 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 للتأكل 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.

الصفحة	المحتوى
52	الخلايا الكهربائية.
52	خلايا التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المنصهر.
52	خلايا التحليل الكهربائي للماء.
53	خلايا التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المائي.
54	تطبيقات الخلايا الكهربائية.
55	الطلي الغلفاني.
55	تضليل الصوديوم من مصهور كلوريد الصوديوم.
57	الجواب الكمية من التحليل الكهربائي.
57	التآكل.
58	طرق الحماية من التآكل.
63	يمكن متابعة المادة والاستفادة أكثر من خلال قناتنا <a href="#">Physical Chemistry IV</a> على منصة Telegram وفق الرابط:

## I-8- الخلايا الكهروليتية (الإلكتروليتية) Electrolytic Cell

في الخلايا الإلكتروليتية (الكهربائية) Electrolytic Cells تتسرب الطاقة الكهربائية في حدوث تفاعلات كيميائية غير عفوية Nonspontaneous (غير تلقائية) في عملية تعرف بـ **التحليل الكهربائي** Electrolysis.

### على سبيل المثال:

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



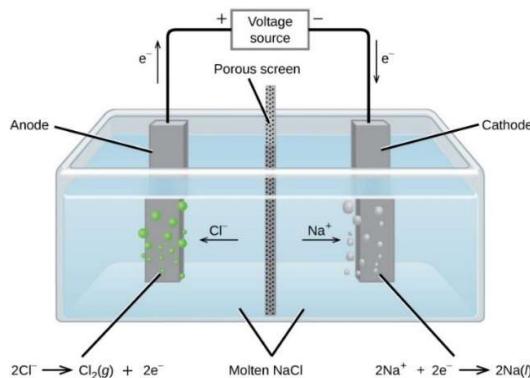
الشكل (I-21): نموذج لسيارات تعمل على الشحن الكهربائي، حيث يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية ضمن المدخلة، وبمجرد اكتمال الشحن تعمل المدخلة على تشغيل السيارة.

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

### I-8-1- خلية التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم المنصهر

#### The Electrolysis Cells of Molten Sodium Chloride

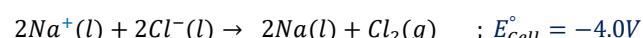
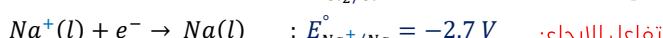
في كلوريد الصوديوم المنصهر، تكون الشوارد ions حرة الحركة للهجرة إلى أقطاب خلية التحليل الكهربائي (الخلية الكهربائية)، يبين الشكل (I-22) مخطط مبسط للخلية المستخدمة لإنتاج معدن الصوديوم Na وغاز الكلور Cl<sub>2</sub>.



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

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

## I-8-2- 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  $H^+$  في الشكل (I-23).

## تذكر هذا

## الخلايا الكهربائية

في الخلايا الإلكترولية (الكهربائية) Electrolytic Cells تتسرب الطاقة الكهربائية في حدوث تفاعلات كيميائية غير عفوية (غير تلقائية) في عملية تعرف بـ التحليل الكهربائي Electrolysis.



## هل تعلم؟

## الفضة Ag

## (معدن انتقالية)



Latin Name: Argentum  
English Name: Silver

Year Discovered: -----

Phase: Solid

Electron Shell:

$K^2 L^8 M^{18} N^{18} O^0 P^0 Q^0 R^0$

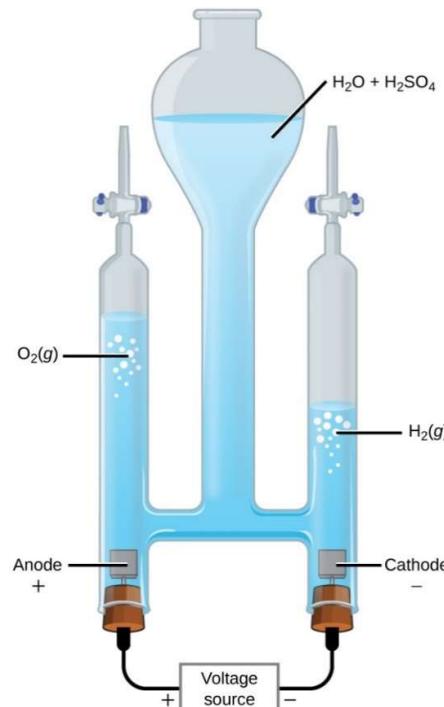
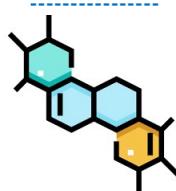
Electron Configuration:

[Kr] 5s<sup>1</sup>4p<sup>10</sup>

1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup>3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup>4s<sup>2</sup>3d<sup>10</sup>4p<sup>6</sup>5s<sup>1</sup>4d<sup>10</sup>

Electrons	Protons	Neutrons
47	47	61
Melting Point		
°C	°F	K
961.9	1763.42	1235.05
Boiling Point		
°C	°F	K
2162	3923.6	2435.15

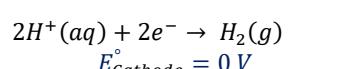
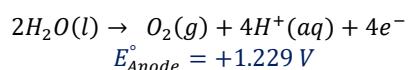
Density: 10.49 (g/cm<sup>3</sup>)



الشكل (I-23): ينفك الماء إلى غاز الهيدروجين والأكسجين خلال عملية التحليل الكهربائي، حيث يضاف حمض الكبريت لزيادة تركيز شوارد الهيدروجين في المحلول وبالتالي العدد الكلي للشوارد في المحلول، ولكن لا يؤخذ منها شيء، في التفاعل، لاحظ أن حجم غاز الهيدروجين الذي يتم جمعه يعادل ضعفي حجم غاز الأكسجين المجموع، وذلك وفقاً للاموال الستيكومترية للتفاعل.

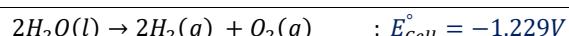
## فما هي التفاعلات الحاصلة؟

إن التفاعلات الحاصلة هي:



المصعد:

المهبط:



## تفاعل الأكسدة والإيجاع الشامل

لاحظ أن حمض الكبريت غير مستهلك، وأن حجم الهيدروجين الناتج هو ضعف حجم الأكسجين الناتج، إن الجهد الأصغر المطبق هو (1.229 V).

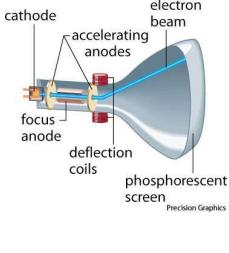


## هل تعلم؟



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 الأنوب، فإنه تنتج أشعة تدعى **الأشعة المهبطية Cathode-ray** وأن هذه الأشعة تصدر عن المسار السالب وبدأت الوقت تنفر من القطب السالب لحقل كهربائي مطبق، فقد افترض ثومسون أن هذه الأشعة عبارة عن عاصفة من الدقائق المشحونة سلبياً والتي تدعى الأن بإسم **الإلكترونات Electrons** حيث يمثل الشكل التالي أسلوب الأشعة المهبطية الذي استخدمه ثومسون في دراسته.



O=[N+]([O-])c1ccccc1[N+]([O-])=O

الصيغة المعمولية لـ 2,4,4-trinitrophenoxide.

الكيمياء علم التجربة والتفسير

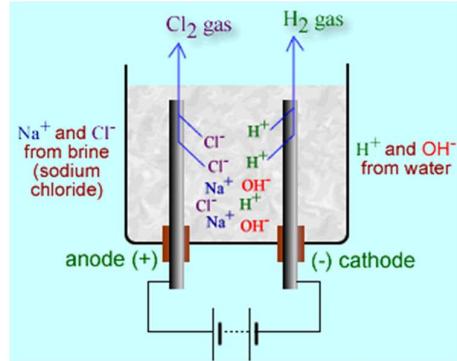
اقرأ أكثر تعلم عن الأشياء ما يجعل الحلول أكثر

### 8-3- خلایا التحلیل الکهربائی لکلورید الصودیوم المائی

#### The Electrolysis Cells of Aqueous Sodium Chloride

يعتبر التحليل الكهربائي لکلورید الصودیوم المائی هو المثال الأكثر شيوعاً للتحليل الكهربائي، لأن أكثر من نوع واحد يمكن أن يخضع لعملية أكسدة، أو عملية إرجاع.

فماذا يحدث؟

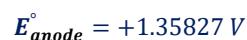
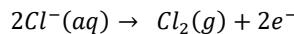


الشكل (24-I): خلية تحليل كهربائي لمحلول کلورید الصودیوم، حيث يلاحظ تشكل غاز الهيدروجين على المهدب، في حين يتشكل غاز الكلور على المصعد.

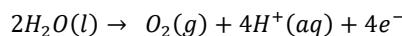
نلاحظ من **الشكل (I-24)** الذي يمثل خلية تحليل كهربائي لمحلول کلورید الصودیوم أن هناك مجموعة تفاعلات تحدث على المصعد ومجموعة تحدث على المهدب.

فما هي هذه التفاعلات؟

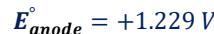
• التفاعلات الحاصلة على المصعد:



التفاعل 1



التفاعل 2



نلاحظ أن هناك تفاعلين ممكن حدوثهما على المصعد، ومن مقارنة قيم الكمون لهذين التفاعلين نجد أن الماء يجب أن يتأكسد في القطب الموجب (**التفاعل 2**) ليعطي الأكسجين، لأنه يحتاج كمون أصغر من شأنه أن يعطي كمون خلية أقل سلبية.



لكن هل هذا ما يحصل فعلًا؟

انتبه لهذه المناقشة وفكرتها جيداً.

عندما يتم تشغيل التجربة (الباء بها)، فإننا نلاحظ التحول للكلور، وليس الأكسجين، حيث يتم إنتاجه في القطب الموجب، وهذه عملية غير متوقعة شائعة جدًا في الكيمياء الكهربائية يطلق عليها اسم: **الكمون الفائض** (أو الزائد) Over-potential.

فما هو هذا الكمون؟



**الكمون الفائض** Over-Potential هو الفرق بين جهد الخلية النظري والجهد الفعلي اللازم للتسبب في التحليل الكهربائي. اتضح أن الزيادة المفرطة في الأكسجين مرتفعة إلى حد ما، مما يجعل كمون الإرجاع أكثر إيجابية، ونتيجة لذلك في ظل الظروف العادية فإن غاز الكلور هو الذي يتشكل في القطب الموجب على أرض الواقع.

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



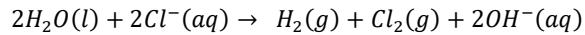
إن التفاعل (5) مستبعد out لأنه يحتوي على كمون إرجاع سالب كبير.

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



$$E_{Cell}^\circ = -2.186 \text{ V}$$

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.

درستنا بعض أنواع الخلايا الإلكترولوليتية (الكهربائية)، وستتناول الآن بعض التطبيقات العملية للخلايا الكهربائية.

### I-9- تطبيقات الخلايا الكهربائية Applications of Electrolytic Cells

لمناقشة في هذه الفقرة بعض من تطبيقات الخلايا الكهربائية وسنبدأ بالفقرة التي تحمل الطابع الاقتصادي وهي الطلي الغلفاني.

#### I-9-1- الطلي الغلفاني The Electroplating

من الاستخدامات المهمة للخلايا الإلكترولوليتية (الكهربائية) 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 للتأكل.
2. تقوية السطح.
3. إنتاج تشكيل أكثر جاذبية في الصناعات المعدنية.
4. تنقية المعادن.



## تذكرة هذا

### من المحاضرة السابقة

من الممكن فصل الماء إلى غاز الهيدروجين وغاز الأكسجين باستخدام **طريقة التحلل الكهربائي**, حيث تضاف الماء عادة من أجل زيادة تركيز شوارد الهيدروجين  $H^+$  في محلول وبالتالي العدد الكلي للشوارد في محلول، ولكن لا يؤخذ منها شيء في التفاعل، كما أن حجم غاز الهيدروجين الذي يتم جمعه يعادل ضعفي حجم غاز الأكسجين المجموع.

**الكمون الفائض** Over-Potential هو الفرق بين جهد الخلية النظري والجهد الفعلي اللازم للتسلب في التحلل الكهربائي.

**المدخلات القلوية** يتم تصنيعها لتكون بدائل دقيقة للمدخلات العادة المصنوعة من الكربون والزنك، كما يوحي اسمها فإن هذه الأنواع من المدخلات تستخدم الشوارد القلوية، غالباً هيdroكسيد البوتاسيوم  $K(OH)$ , كما يمكن للمدخلة القلوية أن تقدم ما يقارب ثلاثة إلى خمسة أضعاف الطاقة التي تقدمها مدخلة عادة من الكربون والزنك ذات نفس الحجم.

**المدخلات القلوية عرضة لتسرب هيdroكسيد البوتاسيوم**, لذا يجب إزالة هذه الأجهزة أيضاً من الأجهزة عند التخزين على المدى الطويل.

في حين أن بعض البطاريات القلوية قابلة للشحن، فإن معظمها غير قابل لإعادة الشحن، إن محاولة إعادة شحن بطارية قلوية لا يمكن إعادة شحنها تؤدي في كثير من الأحيان لتمزق البطارية وتتسرب محلول هيdroكسيد البوتاسيوم الشاري وبالتالي يمكن أن تسبب مخاطر على المحيط.

تستخدم عادة مجموعة من المعادن في الطلاء الكهربائي، مثل الكادميوم والكروم والنحاس والذهب والنikel والفضة والقصدير.

أما المنتجات الخاضعة للطلاء الكهربائي فهي متنوعة، تشمل:

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

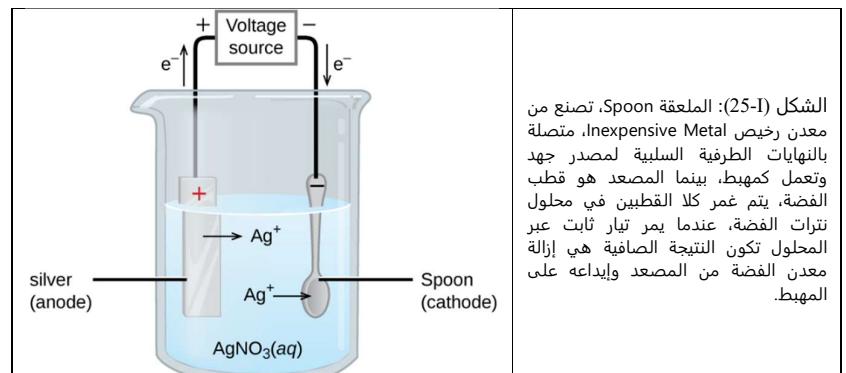
يمكننا الحصول على فكرة عن كيفية عمل ذلك من خلال التحقق من كيفية إنتاج أدوات المائدة المطلية بالفضة.

هل خطر بيالك كيفية فعل ذلك؟

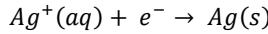
**الشكل (I-25)** في الصفحة التالية يبين خلية طلي غلفاني، حيث نلاحظ أنها مكونة من قطب موجب (المصدع) من الفضة Silver ويظهر على اليسار، بينما يقع المهبط على اليمين وهو عبارة عن ملعقة مصنوعة من معدن رخيص Inexpensive Metal، يتم غمر كل من الأقطاب الكهربائية في محلول نترات الفضة  $AgNO_3$ , حيث كلما ازداد المكون تتفق التيار أكثر، مما يؤدي لفقدان معدن الفضة في المصدع ودخوله محلول وفق تفاعل نصف الأكسدة التالي:



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



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



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 و هذا يتعلق بجهد الخلية المطبق، حيث كلما كان الجهد أصغر وزمن الإيداع أكبر كلما حصلنا على طبقة متباينة.

يتضمن **الشكل (I-26)** في الصفحة التالية، بعض المنتجات المطلية كهربائياً بالفضة والذهب، وهي منتجات منزلية تتمتع بحملية عالية.

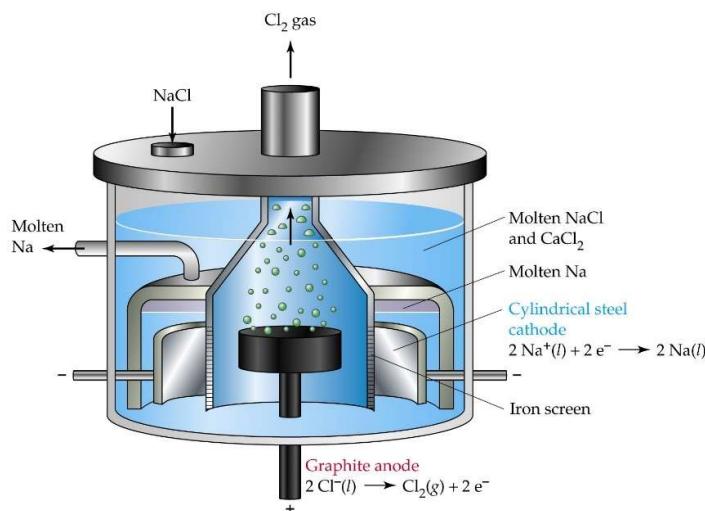


الشكل (I-26): بعض الأواني المنزلية المطلية بالذهب والفضة، لاحظ أننا نستطيع تحديد منطقة الطلاء، ليس شرطاً أن يكون الطلاء كاملاً، وذلك لإضافة مسحة جمالية على القطع، يتم ذلك بتحديد أماكن الطلاء باستخدام مواد تمنع ترسب المعدن على مناطق محددة

## I-9- 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-8-I) في الصفحة 52، حيث نستخدم جهاز كما هو موضح في [الشكل \(I-27\)](#).



الشكل (I-27): مخطط لوحدة انتاج معدن الصوديوم وغاز الكلور من مصهور ملح كلوريد الصوديوم، حيث يستخدم مصدع من الفراقيت يقوم بتجمیع غاز الكلور من فتحة في الأعلى، ومهبیط من معدن تافل على شكل حلقة ضمن المصهور وفق ما هو موضح.

تعتمد هذه الطريقة على ادخال مصهور ملح كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$  مع ملح كلوريد الصوديوم  $\text{NaCl}$  من فتحة أعلى المفاعل، والغاية من إضافة كلوريد الكالسيوم هو لتخفيض درجة انصهار ملح كلوريد الصوديوم من  $(801\text{ }^{\circ}\text{C})$  إلى  $(580\text{ }^{\circ}\text{C})$ ، ولا داعي هنا لفصل الأقطاب عن بعضها البعض لأن التفاعل غير عفوی (غير تلقائي) لأنها الخلية كهربائية، وبالتالي فالتفاعل لا يحدث إلا إذا زودنا النظام بالطاقة الكهربائية.

كما يجب فحص وجود الماء في مصهور كلوريد الصوديوم لأنّه يؤثر على نواتج الأكسدة والإرجاع في كلا القطبين، فكما هو معروف ينحل ملح كلوريد الصوديوم في الماء ويتفكك إلى شاردة الصوديوم  $\text{Na}^+$  وشاردة الكلور  $\text{Cl}^-$ ، وبكل الأحوال ستنجذب شاردة الصوديوم نحو المهبط وتختضع لعملية ارجاع بينما تنجذب شارة الكلوريد إلى المصعد وتختضع 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 تجمیع الكلور من أعلى المفاعل، بينما سيتم تجمیع الصوديوم الذي يطفو نحو الأعلى في وعاء على جانب المفاعل كما هو موضح بالمخطط أعلاه.

## I-10- الجوانب الكمية من التحليل الكهربائي

درسنا في الفقرة السابقة تطبيقات التحليل الكهربائي، هذه التطبيقات تتعلق بعدة عوامل لإنجاحها، لعل أهمها شدة التيار المستخدم وזמן المعالجة.

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، والأمثال стикомترية (الأرقام الكيميائية المستخدمة لإحداث التوازن).

نذكر 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 Total Charge (Q) بالكولوم وفق ما يلي:

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

حيث:

t الزمن مقداراً بالثانية sec.

n عدد مولات الإلكترونات.

F ثابت فراداي Faraday Constant

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

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

### Corrosion - التآكل 11-I

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 تشكيل الصدأ Rust على الحديد، والتتشوه Tarnish الذي يظهر على الفضة، وهذا الطلاء الأزرق والأخضر الذي يتطور على النحاس، والتي تمثل أمثلة تدرج تحت مسمى التآكل.

التآكل مشكلة خطيرة ومكلفة للغاية Extremely Costly لأنها بسببها قد يحدث:



Corroded Electrical Contacts

• انهيار المباني والجسور Bridges.

• تحطم خطوط أنابيب النفط Oil Pipelines.

• يمكن أن تسبب المتلامسات الكهربائية المتآكلة

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.



• ا:

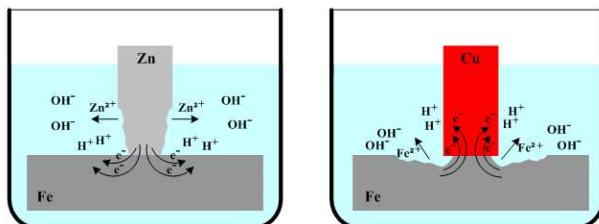
التفاعلات الكهروكيميائية هي المسبب الأساسي لعملية التآكل، يحدث التآكل العام عندما تتأكسد معظم الذرات الموجودة على نفس السطح المعدني أو كلها، مما يؤدي إلى إتلاف السطح بأكمله damaging the entire surface.

وكلما نعلم تتأكسد معظم المعادن بسهولة، حيث تمثل 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 الإلكتروني Electrolytic corrosion:**

هذا النوع من التآكل أكثر شيوعاً في المعدات الإلكترونية Electronic Equipment، حيث يصبح الماء أو الرطوبة محاصرين بين اتصالين كهربائيين مطبق بينهما جهد كهربائي، مما يؤدي كنتيجة إلى تشكيل خلية تحليل كهربائي غير مقصودة An Unintended.

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

لأننا مثلاً اشتهر عالمياً حول ظاهرة التآكل ولمناقش 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 تعرفه عملياً بدلاته)، هذا التمثال يبدو قوياً ودائماً، ومع ذلك، مثل جميع الأجسام المعدنية تقرباً 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 إطاراً الحديدي وجلد النحاسي بمثابة أقطاب ل الخلية كلفانية ضخمة، مما أدى لصدأ نصف الإطار تقرباً 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 تمثل أحياناً للون الأزرق التي تغطي الجلد النحاسي للتمثال، تحمي المعدن الموجود تحتها من أضرار الطقس وهذا ما نلاحظه من خلال [الشكل \(I-28\)](#).



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

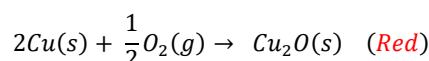
### كيف تغير لون التمثال؟

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

الشكل (I-28):

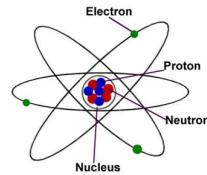
- (a) تم تغطية تمثال الحرية بجلد نحاسي، وكان في الأصل بني اللون كما هو موضح في الصورة المرفقة.  
 (b) أدى التعرض للعاصف إلى تشكيل طبقة من صدأ النحاس (Patina) الأزرق والأخضر الذي نشاهده اليوم.

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:





## هل تعلم؟



### الذرة

#### The Atom

هي أصغر حجر بناء أو أصغر جزء من العنصر الكيميائي يمكن الوصول إليه والذي يحتفظ بالخصائص الكيميائية لذلك العنصر. يرجع أصل الكلمة الإنجليزية (atom) إلى الكلمة الإغريقية **Atomos**، والتي تعني غير قابل للانقسام؛ إذ كان يعتقد أنه ليس ثمة ما هو أصغر من الذرة.

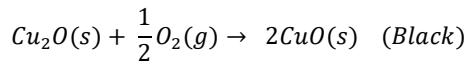
ت تكون الذرة من سحابة من الشحثات السالبة ملؤفة من الإلكترونات التي تدور حول نواة موجبة الشحنة صغيرة جدًا في المركز، وت تكون النواة من بروتونات موجبة الشحنة، ونيوترونات معدنلة.

وتعتبر الذرة هي أصغر جزء من العنصر يمكن أن يتميز به عن بقية العناصر.

وما زال تركيب الذرة وما يجري في هذا العالم البالغ الصغر يشغل العلماء ويدفعهم إلى اكتشاف المزيد. ومن هنا أخذت تظهر فروع جديدة في العلم حاملة معها مبادئها ونظرياتها الخاصة بها.



**عزيزي الطالب:** كل ما حولك يدعوك للتساؤل، حاول إيجاد الإجابة العلمية دائمًا على ذلك، العلم يفسر حالي أحلامك.

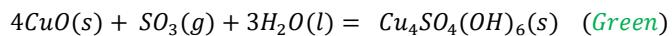
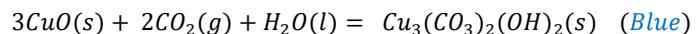
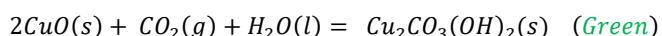


إذا يجب أن يتحول لون تمثال الحرية إلى الأسود.

### فـلـمـاـذا تـحـول لـلـوـنـ الـذـي نـشـاهـهـ الـيـوـمـ؟

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، **فـمـاـذا نـتـجـ عـنـ ذـلـكـ؟**

تفاعل كل من ثلاثي أكسيد الكبريت Sulfur Trioxide وثاني 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 المزرك 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:

**بـمـاـنـ التـمـثـالـ طـوـالـ هـذـهـ الـأـعـوـامـ يـخـضـعـ لـعـمـلـيـةـ التـآـكـلـ هـذـهـ،ـ لـمـ يـنـهـارـ بـشـكـلـ كـلـ؟ـ**

### نتيـجـةـ:

إذاً تشكل الطبقة الواقية هو شكل من أشكال التخمير Passivation (الحماية من التآكل).

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

لعل المثال الأكثر شهرة على التآكل هو **Rust**، لتعرف عليه في هذه الفقرة.

### 11-1- الصـدـأـ

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

**الـصـدـأـ** هو المصطلح الشائع الاستخدام للتآكل وأكسدة الحديد وسبائكه، مثل الفولاذ Steel، ومن الناحية التقنية هو أكسيد الحديد (III) المائي والمعرف باسم أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$ ، لأنه يحدث عندما يتفاعل الحديد مع الأكسجين والماء، ويُعرف هذا التفاعل بالأكسدة Oxidizing.

### عـلـىـ سـبـيلـ المـثـالـ:

إذا تركت قطعة من الحديد لفترة طويلة بما فيه الكفاية، مع تعرضها للماء والأكسجين، فإن صدأها أمر لا مفر منه Inevitable، قد يستغرق الأمر أيامًا، أسابيعًا، شهورًا، أو حتى سنوات حسب شدة التعرض، ولكنها ستتصدأ 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، الموضع الذي تشهد العواصف Windy خصوصاً العواصف المطرية).
- ❖ البيئات شديدة الملوحة Heavily Salty Environments، مثل القرب من البحر، والذي يفاقم 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 تتطوّر على ما يلي:

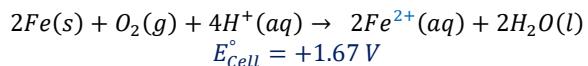
1. بمجرد تعرض الحديد للجو يتأكسد بسرعة وفق ما يلي:



2. ترجع الإلكترونات للأكسجين في الهواء في المحاليل الحمضية:

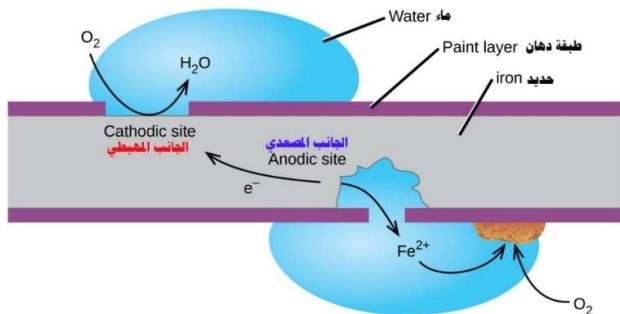
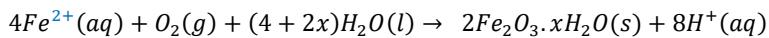


3. فيكون التفاعل الكلي:



#### تفاعل الأكسدة والإيجاع الشامل

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



عدد جزيئات الماء متغير لذلك يتم تمثيله بـ (x).  
نلاحظ في الشكل المجاور أن الحديد محمي بطبقة دهان Paint Layer، ولكن في الأماكن التي يوجد فيها خدوش في هذه الطبقة، حصلت عملية أكسدة الحديد وتشكل الصدأ، فظهور أي عيب في طبقة الحماية يؤدي إلى ظهور بؤرة لتشكل الصدأ يمكن أن تمتد إلى داخل المعدن.

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

#### م:

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

## ❖ أنواع الصدأ Types Of Rust

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

### - الحفر وتأكل 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 وضحلة Shallow، وهو ما لاحظناه من خلال [الشكل \(I-29\)](#) في الصفحة السابقة.

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

لشرح 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 الحفرة Obscured Cathodic Reaction من منتج التآكل (الصدأ) على السطح، حيث عندما يحدث التفاعل المهيطي Anodic Reaction في منطقة كبيرة (منطقة الطلاء) على تفاعل مصعدى 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 تحمل الطلب العالى للإلكترونات من قبل المهيط الكبير على المصعد الصغير، مما يؤدي لتأكل حفري شديد يحدث بسرعة، بحيث تظهر فقط بقعة صغيرة من الصدأ على السطح بينما يكون الضرر الكبير في عمق الهيكل المعدنى كما في [الشكل \(I-29\)](#).

يكون تآكل التجويف قوياً عندما يحتوى محلول الموجود على السطح المعدنى على شوارد الكلوريد، الهيبوكلوريت، أو البروميد، كما يمكن لفلوريدات اليود أن تساهم في ذلك.

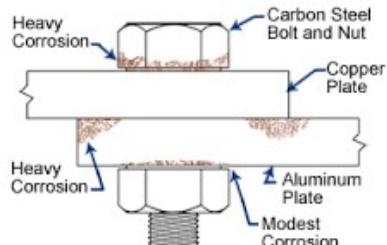
### ما هي أسباب هذا النوع من التآكل الأكثر شيوعاً؟

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

### ما هي المعادن الأكثر عرضة للتآكل وفق هذا النوع؟

ستانلس ستيل - الكروم - الحديد غير المطلى - 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، يسبب ترسيات 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 الكهربائي.

### I- 11-2- 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 منها، ويمكن تصنيف تقنيات Techniques منع التآكل Corrosion Prevention وفق المجموعات التالية:

#### I- 11-2-1- 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:

##### 1.1. المثبطات المهيطية Cathodic Inhibitors

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

**على سبيل المثال:**

شوارد الكبريت Sulfite وثنائي سلفيت Bisulfite والتي يمكن أن تتفاعل مع الأكسجين لتكوين الكبريتات Sulphates. مثال آخر للمثبط المهيطي هو تفاعل الأكسدة والإرجاع المحفز بواسطة النيكل.

##### 2. المثبطات المصعدية Anodic Inhibitors

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

**على سبيل المثال:**

الكرومات Chromates والتربيتات Nitrites والأورثوفوسفات Orthophosphates والموليبيدات Molybdates.

##### 3.1. مثبطات التآكل المتطايرة 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 حموضة من أجل التحكم في التآكل.

**على سبيل المثال:**

المورفولين Morpholine (C4H9NO) والهيدرازين Hydrazine (N2H4) والتي تستخدم للتحكم في تآكل أنابيب المكثف في الغلايات.

#### 4.1 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:**

السيликات Silicates والفوسفات Phosphates التي تستخدم كمنعمات Softeners للمياه ليقاف الصدأ الناتج عن الماء.

#### I-11-2-2- الطلاء الواقي Protective coating

إحدى الطرق للحفاظ على المعدن 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 الواقي لتوفير الحماية للمعدن 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 Epoxy.

#### I-11-2-3- الطلاء الغلفاني Galvanic coating

يستخدم الحديد المطلية 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، وهذا حتى لو خدش طلاء الزنك فإن الزنك سوف يتآكسد قبل الحديد.

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

#### I-11-2-4- تشكيل السبائك Alloying

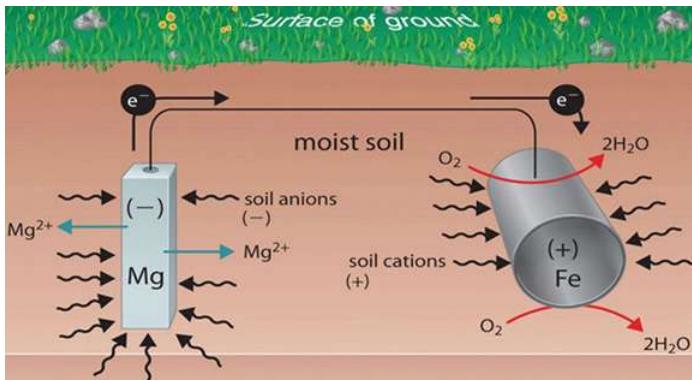
غالباً ما تستخدم هذه الطريقة لحماية الحديد تتم عبر تشكيله سبائك مع المعدن الآخر، حيث يعتبر الفولاذ المقاوم للصدأ Stainless Steel عبارة عن سبيكة حديد مع قليل من الكروم في الغالب، حيث يميل الكروم إلى التجمع بالقرب من السطح ليشكل طبقة أكسيد تحمي الحديد.

#### I-11-2-5- الحماية المهيكلية Cathodic Protection

يتم استخدام أنظمة الحماية المهيكلية على نطاق واسع في حالات التآكل الغلفاني، غالباً ما تستخدم عندما يكون معدنان مختلفان Dissimilar في بيئه تآكل أو كهربائي مثل مياه البحر، حيث تعتمد الطريقة على تحويل المواقع المتصعدية غير المرغوب بها Undesirable على سطح المعدن إلى موقع مهيكل، أي جعل المعدن المراد حمايته مهيكل في خلية غلافانية.

**على سبيل المثال:**

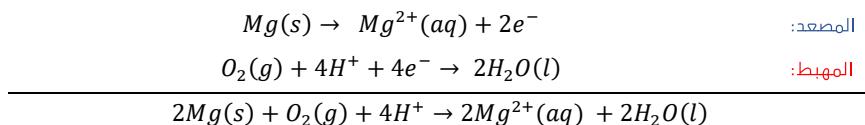
يمكن منع صدأ خزانات وأنابيب تخزين الحديد تحت الأرض أو تقليلها بشكل كبير عن طريق وصلها بمعدن أكثر نشاطاً مثل الزنك أو المغنتزيوم Magnesium الشكل (I-30) في الصفحة التالية.



الشكل (30): أحد الطرق لحماية أحواض التخزين المصنعة من الحديد تحت الأرض هي من خلال الحماية المهيكلية، باستخدام معدن نشط مثل الزنك أو المغنيسيوم من أجل المصدع بشكل فعال يجعل خزان التخزين هو المهيكل مما يمنعه من التآكل (الأكسدة).

تستخدم الحماية المهيكلية أيضاً لحماية الأجزاء المعدنية في سخانات المياه. تسمى المعادن الأكثر نشاطاً (ذات كمونات الإرثاع الأخضر) بالمصاعد الضدية (Sacrificial Anodes) لأنها تُستهلك عن طريق تآكلها Corrode من خلال تأكسدها في القطب الموجب. عند مراقبة المصاعد بشكل صحيح واستبدالها بشكل دوري، يمكن تمديد العمر المفید Useful Lifetime إلى حد كبير.

في هذه الحماية تحدث التفاعلات التالية:



### نتيجة:

الحماية المهيكلية هي طريقة لحماية المعدن باستخدام مصدع ضحية، وبالتالي المعدن الذي يجري حمايته يستخدم بمثابة المهيكل، وهكذا لا يتآكل (يتآكل).



## ماذا كانت؟

(دُرسٌ في الكيمياء العامة)

تحليل الأبعاد Dimensional Analysis

أحياناً نحتاج لتحويل النتيجة التي نحصل عليها من نظام لواحدة إلى نظام آخر، وأفضل طريقة لذلك هي التي تعرف بطريقة **مُصنع الواحدة** Unit Factor أو ما ندعوه تحليلاً الأبعاد، لتوضيح ذلك يجب أن نملك العديد من الوحدات.

لنفرض مثلاً أن أحد الطلاب دخل سباق الـ **10 km** جري.

كم هي مسافة السباق بالميل؟

يمكننا حساب المسافة مقدرة بالميل من خلال معرفتنا لوحدات المسافة وتعريفها، وبالتالي تنجز هذه الخطوة وفق عدة مُضيئات واحدة متعاقبة فيكون:

$$10.0 \text{ km} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1.094 \text{ yd}}{1 \text{ m}} \times \frac{1 \text{ mi}}{1760 \text{ yd}} = 6.22 \text{ mi}$$

حيث أن كل كسر في العلاقة السابقة هو عبارة عن **مُصنع واحدة** يربط بين وحدتين للقياس ويستخدم للانتقال بينهما.

**مثال آخر:**

لو كان طول القلم الذي تكتب به هو (7 in).

**ما هو طوله بالسنتيمتر؟**

نحن نعلم أن كل إنش يساوي 1.54 cm، لذلك:

$$7.00 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = (7.00)(2.54) \text{ cm} = 17.8 \text{ cm}$$

حيث يمثل الكسر  $\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}}$  مصنع الواحدة، فلو أردنا بالعكس التحويل في نص مسألة من الـ cm إلى الإنش، عندها نقلب الكسر ليصبح  $\frac{1 \text{ in}}{2.54 \text{ cm}}$ ، بحيث تلغى الواحدة التي نريد التحول منها، إذا مصنع الواحدة مهم جداً ونحن نستخدمه في كل المسائل.

**هذه الفقرة خاصة بمفردات درستها سابقاً وتحتاجها الآن ولاحقاً**



## ماذا كانت؟

(دُرستْ في الكيمياء العامة)

الكتلة الذرية Atomic Mass

وضع النظام الحديث للكتل الذرية عام 1961، وهو يعتمد على الكربون النظير 12 ( $^{12}\text{C}$ ) كمعيار، في هذا النظام: يمتلك الكربون كتلة مكونة من 12 وحدة ذرية amu، وتعطى كتل جميع الذرات الأخرى نسبة لهذا المعيار.

**amu:** Atomic mass Unit

**مثال:**

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

$$\begin{aligned} ^{13}\text{C}/12 &= 1.0836129 \\ ^{13}\text{C} &= 1.0836129 \times 12 \\ &= 13.003355 \text{ amu} \end{aligned}$$

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

هذه الفقرة خاصة بمفردات درستها سابقاً وتحتاجها الآن ولاحظاً.

## عزيزي الطالب:

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



لنتنقل الآن لبعض الأمثلة المحلولة.



### مثال محلول (9)

هذا المثال يدعم فكرة تحويل كمية التيار إلى مولات الإلكترونات.

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى      الزمن الإمتحاني: 12 دقيقة كحد أقصى

في احدى عمليات الطلاء الكهربائي بالفضة، تم تمرير تيار شدة **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 فراداي  $F$  لتحويل الشحنة الكلية  $Q$  إلى عدد مولات الإلكترونون  $n$ ، وكما نعلم فإن الشحنة هي جداء التيار في الزمن، لذلك نجد:

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

من نص المسألة، فإن المحلول يحوي نترات الفضة  $\text{AgNO}_3$ ، 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 الأمثلالستيكومترية 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 غير محلول (8)

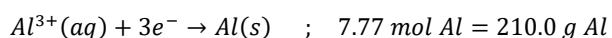
هذا المثال يختبر مدى تعلمك تحويل كمية التيار إلى مولات الإلكترونات.

زمن الحل: 10 دقائق كحد أقصى      الزمن الإمتحاني: 12 دقيقة كحد أقصى

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 مرتنا تيار شدته  $(A = 2.5 \times 10^3)$  خلال محلول لمدة 15  $\text{min}$ ؟
3. هل العائد هو 100%؟

الحل:



### مثال محلول (10)

هذا المثال يدعم فكرة تحويل كمية التيار إلى مولات الإلكترونات.

زمن الحل: 12 دقيقة كحد أقصى      الزمن الإمتحاني: 15 دقيقة كحد أقصى

لنفرض أنه طلب منك في إحدى التطبيقات العملية ترسيب طبقة سماكتها (0.010 mm) من الكروم Chromium على جزء ذي مساحة إجمالية قدرها ( $3.3 \text{ m}^2$ ) انطلاقاً من محلول يحتوي على شوارد الكروم الثلاثية ( $\text{Cr}^{3+}$ ) . ما المدة التي تستغرقها عملية ترسيب طبقة الكروم إذا كان التيار المستخدم هو (33.46 A)؟ علماً أن كثافة الكروم هي ( $7.19 \text{ g/cm}^3$ ).

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 والأمثلالستيكومترية 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 المطلوب هو جداء السماكة في مساحة المنطقة المطلوبة
- إن حجم Volume طبقة الكروم المطلوبة ( $V$ ):

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

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

الكتلة = الحجم  $\times$  الكثافة

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

للحسب 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، إذًا 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 كافيًا، تعطي كل خطوة من الخطوات السابقة أعدادًا معقولة (يجب أن تعيد النظر إذا كان العدد غير منطقي)، ومن المحتمل أن تكون الأمور صحيحة بالانتباه جيداً إلى تحويلات الواحدة ورياضيات الأمثلالستيكمومترية.



### مثال غير محلول (9)

هذا المثال يختبر مدى استيعابك فكرة الوقت اللازم للترسيب.

زمن الـ 12 دقيقة كحد أقصى      الزمن الإمتحاني: 15 دقيقة كحد أقصى

ما هو مقدار الزنك Zinc المطلوب لغلفنة (تشكيل طبقة راسبة) الجزء العلوي من صفيحة حديد أبعادها (3.00 m x 5.50 m) بسمكها مقدارها (0.100 mm) من الزنك؟  
إذا كان الزنك يأتي من محلول نترات الزنك  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ، وشدة التيار هي (25.5 A)، ما هو الزمن الذي تستغرقه عملية غلفنة Galvanize الجزء العلوي من الحديد؟  
كثافة الزنك هي (7.140 g/cm<sup>3</sup>).

الحل:

(446 min) من الزنك وتنطلب زمن مقداره (446 min).

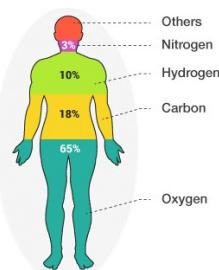


## الكيمياء في حياتنا اليومية (مطالعة)

### العناصر في جسم الإنسان

Elements in the Human Body

Element	Symbol	Percentage in Body
Oxygen	O	65.0
Carbon	C	18.5
Hydrogen	H	9.5
Nitrogen	N	3.2
Calcium	Ca	1.5
Phosphorus	P	1.0
Potassium	K	0.4
Sulfur	S	0.3
Sodium	Na	0.2
Chlorine	Cl	0.2
Magnesium	Mg	0.1
These elements include boron, silicon, cobalt, copper, fluorine, chlorine, iron, manganese, molybdenum, selenium, silicon, tin, vanadium, and zinc.		>1.0



تبلغ نسبة الماء في أجسامنا (70%)، ولكن:

ما الذي تكون منه أجسامنا بعد ذلك؟  
الكريون والهيدروجين والنترات والأكسجين، تشكل هذه العناصر 96% من جسم الإنسان.  
في حين أن النسبة المتبقية 4% تكون من حوالي 60 عنصراً، بعض هذه العناصر تشمل الكالسيوم والفوسفور والبوتاسيوم والكربون.

والأكسجين.

أجسامنا بحاجة للماء للحفاظ على

العمليات الحيوية الأساسية في الجسم، لذلك يجب أن تتناول ما يقرب من 2 لتر يومياً من الماء من أجل سلامة عمل وظائف الأعضاء



لا شيء يولد من عدم، وكذلك المعرفة



## المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

### Key Concepts and Summary

بدأنا هذه المحاضرة بمفهوم الخلايا الكهربائية 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 أهتم تطبيقات هذا النوع من الخلايا من خلال عملية الطلبي الغلفاني كمثال عليها، وجدنا أن الطلبي يحقق إضافة إلى الناحية الجمالية حماية للمعادن من التآكل نتيجة الظروف المحيطة.

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

ثم تناولنا في نهاية المحاضرة أهم الطرق المتبعة للاحماية من التآكل، وجدنا أن كل طريقة تعتمد على المعدن المراد حمايته والطبيعة المحيطة به، ومن أمثلة طرق الحماية التي ناقشناها هي طريقة الحماية المهبطة التي تعتمد على تغيير طبيعة المعدن التفاعلية يجعله مهبطاً عوض أن يكون مصعد، وذلك عن طريق استخدام معدن آخر نعتبره مصدراً ضحية للاحماية.

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 الأربعاء تاريخ 14/05/2025 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

- ✓ تعریف الكهربییات وأنواعها وبعض المصطلحات المرتبطة بها.
- ✓ التميیز بین الكهربییات القویة والكهربییات الضعیفة.

أعدت هذه المحاضرة وفق قواعد الجودة العالمية لمناهج التدريس، كما تم الاستعانة في إعداد هذه المحاضرة بجامعتي الأزر (Rice Univ.) والبنوي (Illinois Univ.) في الولايات المتحدة، إضافة إلى خبرة شركة STATCRAFT الأوروبية المتخصصة في مجال الطاقة النظيفة، ومراجع موثقة من الأنترنت تابعة لشركات متخصصة في مجال التطبيقات الكيميائية.

د. سعید عبد الحليم كده