



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الثالثة

المادة : كيمياء فيزيائية 4

المحاضرة : الثالثة / نظري / د. سعود كده

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z Facebook Group :

كلية العلوم

8

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

السبت: 2026/04/11	مقرر الكيمياء الفيزيائية IV	المحاضرة الثالثة
د. سعود عبد الحليم كده 	الفصل الأول الكيمياء الكهربائية ELECTROCHEMISTRY	قسم الكيمياء السنة الثالثة - الفصل الثاني 2026 - 2025
تتضمن هذه المحاضرة: 4800 كلمة تشمل: 25034 حرف موزعة ضمن: 15 صفحة		

الهدف التعليمي من المحاضرة الثالثة

في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:

- ✓ تصنيف المدخرات (البطاريات) ما بين مدخرات أساسية وثانوية.
- ✓ التعرف على بعض خصائص المدخرات.
- ✓ تقديم وصف عام لمدخرة الوقود.

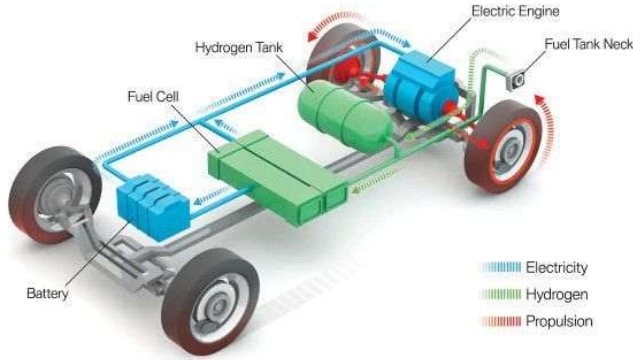


جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على الشبكة العنكبوتية

الخلايا الجافة (المدخرات الجافة)

Anode, oxidation: $Zn(s) = Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
Cathode, reduction: $2NH_4^+(aq) + 2e^- = 2NH_3(g) + H_2(g)$

سنتعرف اليوم على أهم أنواع المدخرات كالمدخرات الجافة الأولية والثانوية والتعرف على الاختلاف بينها، كما سنتطرق لخلايا الوقود، واستخدامات هذه الخلايا، مما يعطينا المجال لفهم كيفية تطبيق تفاعلات الأكسدة والإرجاع على أرض الواقع. كمنتجات لها دور هام في حياتنا اليومية.



المحتوى

الصفحة

خلايا التركيز.	32
المدخرات وخلايا الوقود.	32
المدخرات الأولية.	33
المدخرات الجافة.	33
المدخرات القلوية.	34
المدخرات الثانوية.	36
مدخرات النيكل - كادميوم.	36
مدخرات الليثيوم الشاردية.	37
مدخرات الرصاص الحمضية.	38
مدخرات الوقود (خلايا الوقود).	39
الهيدروجين.	41

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



قبل الانتقال للمدخرات ودراستها، سنسلط الضوء على نوع خاص من الخلايا والذي يدعى بـ خلايا التركيز.

فما هو هذا النوع من الخلايا؟

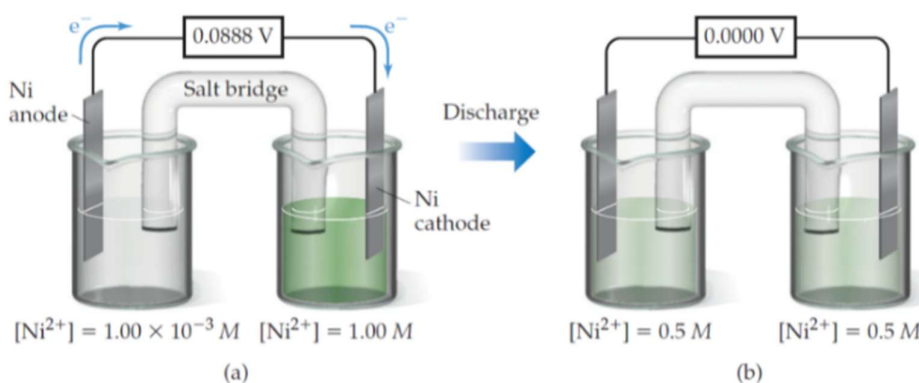
7-I - خلايا التركيز Concentration Cells

يمتاز هذا النوع من الخلايا بما يلي:

- الأقطاب الكهربائية من نفس المادة.
- أنصاف الخلايا تختلف فقط في التركيز.

وبما أن إحدى المكونات أو كلاهما ليست قياسية، فإن كمونات الخلية لن تكون متساوية، وبالتالي سيكون هناك فرق محتمل، والذي يمكن تحديده بمساعدة معادلة نيرنست Nernst.

الشكل (I-11) يوضح إحدى خلايا التركيز التي تتألف من مسريين من النيكل (مصعد ومهبط) مغمورين في أحد أملاحهما المختلفين في التركيز بين نصفي الخلية، حيث نلاحظ كيف يتم انتقال الشوارد عبر نصفي الخلية عبر الجسر الملحي حتى تساوي التركيزين وانعدام التيار، حيث نلاحظ أن حركة الإلكترونات تكون من المصعد ذي التركيز المنخفض إلى المهبط ذي التركيز المرتفع



الشكل (I-11):

خلية تركيز مكونة من معدن النيكل في أحد أملاحه، حيث نلاحظ اختلاف تركيز شوارد النيكل في نصفي الخلية، حيث تنتقل الإلكترونات من المصعد (التركيز المنخفض) نحو المهبط (التركيز المرتفع) مع انتقال شوارد النيكل عبر الجسر الملحي بنفس الاتجاه حتى تساوي التركيزين وانعدام التيار.

سنقوم بتعزيز هذه الفكرة من خلال الأمثلة التوضيحية في نهاية المحاضرة، إضافة إلى مثال غير محلول يتعلق بذات الفكرة تقوم أنت بإيجاد الحل للمعضلة التي فيه.

ولكن قبل ذلك، ما رأيكم الآن أن نتقل لمناقشة أهم أنواع المدخرات واستخداماتها، والتي تعد تطبيقاً عملياً للخلايا الغلفانية تدخل في شتى مناحي الحياة من حولنا، كمصدر أساسي للطاقة المحمولة، حيث سنلاحظ مراعاة تصميمها للاستخدامات العملية.

8-I - المدخرات وخلايا الوقود Batteries and Fuel Cells

تعتبر صناعة المدخرات إحدى أهم الصناعات التي بدأت في القرن العشرين، وما زالت تتطور بشكل متسارع حتى يومنا هذا، وتتركز عملية التطوير على إيجاد مدخرات خفيفة الوزن وقادرة على التزويد بالطاقة أطول فترة ممكنة، قبل استبدالها أو إعادة شحنها.

فما هي المدخرات؟

المدخرة (البطارية) Battery: هي خلية كهروكيميائية أو سلسلة من الخلايا الكهروكيميائية التي تنتج تيار كهربائي تعتمد شدته على نوع المدخرة ومكوناتها.

(بالمبدأ، أي خلية غلفانية يمكن استخدامها كبطارية)

يمكننا أن نصنف المدخرات وفق ما يلي:

1. المدخرة المثالية Ideal Battery: هي مدخرة لن تفرغ أبداً، حيث تنتج كمون (جهد) غير متغير، وتكون قادرة على تحمل أقصى الظروف البيئية من حرارة ورطوبة.
2. المدخرة الحقيقية Real Battery: هي مدخرة تحقق التوازن بين الخصائص المثالية والقيود العملية.

على سبيل المثال:

يبلغ وزن بطارية السيارة (18 Kg)، أو (1%) من وزن سيارة عادية أو متوسطة، هذه البطارية ستوفر طاقة غير محددة تقريباً إذا تم استخدامها في هاتفك الذكي، ولكن:

هل يمكنك استخدامها لهذا الأمر؟

بالطبع سترفض استخدامها بسبب كتلتها الكبيرة نسبياً، وبالتالي لا توجد بطارية واحدة "يمكن اعتبارها الأفضل"، حيث يتم اختيار البطارية لتطبيق معين مع الاحتفاظ ببعض الأمور ككتلتها، وتكلفتها، وموثوقيتها، وأخذ القدرة الخاصة بها بعين الاعتبار. إذاً:

"الحالة المثالية لا يمكن أن تكون إلا في حالات نادرة جداً"

النماذج الأساسية للمدخرات:

1. المدخرات الأولية (الأساسية) Primary Batteries.
 2. المدخرات الثانوية Secondary Batteries.
 3. مدخرات الوقود التي سنناقشها بإيجاز.
- سننترق في الفقرات التالية لبعض هذه الأنواع.

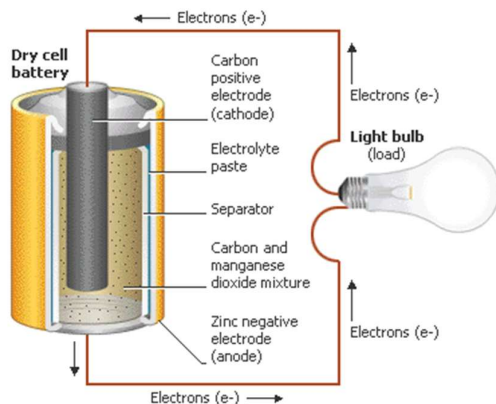
8-I-1- المدخرات الأولية Primary Batteries

هي المدخرات (البطاريات) ذات الاستخدام الواحد، لأنه لا يمكن إعادة شحنها، ومن أنواعها الشائعة الاستخدام المدخرات الجافة Dry Batteries.

فما هي المدخرة الجافة؟

8-I-1-1- المدخرات الجافة Dry Batteries:

هي مدخرة مكونة من زنك - كربون كما هو موضح من خلال الشكل (12-I).



الشكل (12-I): مخطط يظهر مقطع عرضي لبطارية مصباح يدوي (خلية زنك - كربون جافة)، حيث تعني كلمة Separator العازل، لاحظ حركة الإلكترونات.

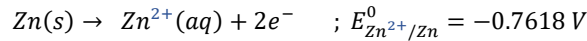


في هذه المدخرة:

1. يمكن أن يستخدم الزنك كغطاء (غلاف للمدخرة) كما يستخدم كقطب سالب Negative Electrode.
2. أما بالنسبة للقطب الموجب Positive Electrode فهو عبارة عن قضيب مصنوع من الكربون محاط بعجينة من أكسيد المنغنيز IV (MnO_2)، وكلوريد الزنك ($ZnCl_2$)، وكلوريد الأمونيوم (NH_4Cl)، ومسحوق الكربون، وكمية صغيرة من الماء.
3. تحدث على المهبط والمصعد مجموعة تفاعلات أكسدة وإرجاع يمكن بيانها وفق ما يلي:

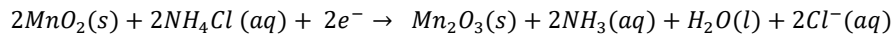
• التفاعلات الحاصلة على المصعد (Anode):

يمكن تمثيل التفاعل في المصعد كأكسدة عادية للزنك:

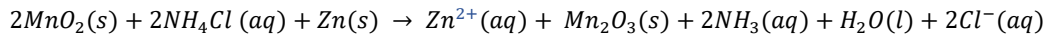


• التفاعلات الحاصلة على المهبط (Cathode):

يكون التفاعل أكثر تعقيداً، لأنه يحصل أكثر من تفاعل، فسلطة التفاعلات التي تحصل عند المهبط هي تقريباً:



تمثل المعادلة الشاملة لمدخرة زنك - كربون وفق ما يلي:



4. يكون كمون الخلية الكلي في البداية حوالي (1.5 V)، ولكن هذا الكمون يتناقص عند استخدام البطارية.

هل كمون المدخرة الذي نحصل عليه يتعلق بحجمها؟

من المهم أن نتذكر أن الجهد (الكمون) الذي يتم تسليمه بواسطة المدخرة الجافة هو نفسه بغض النظر عن حجم هذه المدخرة، لهذا السبب جميع المدخرات من النوع:

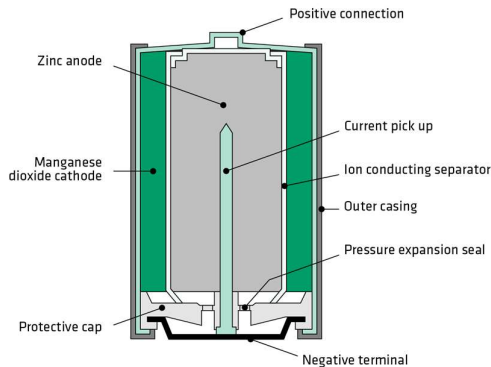
(AAA, AA, A, C, D)

لها نفس تصنيف الجهد (1.5 V)، ومع ذلك يمكن للمدخرات الكبيرة تقديم المزيد من مولات الإلكترونات.

تنبيه: عندما تتأكسد حاوية الزنك (الحافظة)، تتسرب محتوياتها في النهاية، لذا لا يجب ترك هذا النوع من البطارية في أي جهاز كهربائي لفترات طويلة.

8-I-2-1- المدخرات القلوية Alkaline Batteries:

تم تطوير المدخرات القلوية في خمسينات القرن الماضي بشكل جزئي الشكل (I-13)، لمعالجة بعض مشكلات الأداء في المدخرات الجافة المصنوعة من الزنك والكربون، أي لتكون بدائل دقيقة للمدخرات الجافة.



الشكل (I-13):

مخطط يظهر مقطع عرضي لبطارية قلوية صممت لتحل محل بطارية (زنك - كربون) الجافة

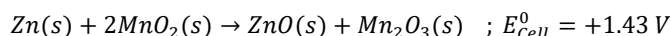
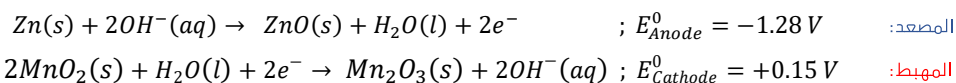


في هذا النوع من المدخرات نجد:

1. كما يوحي اسمها، فإن هذه الأنواع من المدخرات تستخدم الشوارد القلوية، غالباً هيدروكسيد البوتاسيوم K(OH)، وهذا هو سبب تسميتها.
2. يمكن للمدخرة القلوية أن تقدم ما يقارب ثلاثة إلى خمسة أضعاف الطاقة التي تقدمها مدخرة جافة من الكربون والزنك ذات نفس الحجم.
3. بالنسبة للمهبط فهو عبارة عن عجينة مضغوطة Compressed Paste من ثاني أكسيد المنغنيز MnO₂ مع مسحوق الكربون مضاف لزيادة التوصيل.

يمكن ضغط هذا الخليط ويكون ضمن علبة المدخرة (الغطاء الخارجي Outer Casing) موصولاً مع القطب الموجب للمدخرة Positive Connection، ويتم تبطين المركز المجوف للمهبط بطبقة عازلة Ion Conduction Separator تمنع ملامسة مواد القطب مع بعضها البعض، وغالباً ما تكون هذه الطبقة من مواد سليوزية أو بوليمر صناعي، بحيث يمكنه توصيل الشوارد ويبقى ثابتاً في محلول الكهرليت القلوي.

4. بالنسبة للمصعد والذي يكون متصلاً بالطرف السالب للمدخرة Negative Terminal، فهو عبارة عن مسحوق الزنك في هلام يحتوي على هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، حيث يوفر مسحوق الزنك مساحة أكبر للتفاعلات الكيميائية.
5. يتم ادخال دبوس معدني غالباً من النحاس على طول محور المدخرة يعمل كجامع للتيار Current Pick Up، حيث يقوم بجمع الشحنة السالبة، وهو على اتصال بغطاء محكم الإغلاق بنهاية معدنية.
6. يوجد غطاء بلاستيكي داخل الغطاء المعدني المختوم يعمل كغطاء حماية Protective Cap، يفصل كهربائياً الأقطاب الموجبة عن السالبة، حيث يكون القطب الموجب للمدخرة هو جسد المدخرة المعدني الذي يصنع عادة من مادة غير قابلة للصدأ، كما أن هذا الغطاء مزود بختم لتوسيع الضغط Pressure Expansion Seal لحماية المدخرة، بسبب التفاعلات الحاصلة ضمنها وما قد يرافقها من تمدد حجر التفاعلات.
7. يعمل مسحوق الزنك كمصعد، بينما يعمل ثاني أكسيد المنغنيز كمهبط وذلك وفق التفاعلات التالية:



المعادلة الكلية الشاملة

8. يبلغ جهد المدخرات القلوية (1.5 – 1.65 V)، ويمكن وصل مجموعة مدخرات قلوية للحصول على جهد أعلى كوصل ثلاث مدخرات قلوية للحصول على جهد يبلغ (9 V).

تنبيه:

1. المدخرات القلوية عرضة لتسرب هيدروكسيد البوتاسيوم، لذا يجب إزالة هذه المدخرات أيضاً من الأجهزة عند التخزين على المدى الطويل.
2. 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 وتسرب محلول هيدروكسيد البوتاسيوم الشاردي وبالتالي يمكن أن تسبب مخاطر على المحيط.



Secondary Batteries المدخرات الثانوية 8-I-2-



هي مدخرات قابلة لإعادة الشحن Rechargeable، وتعتبر من أهم أنواع المدخرات في الوقت الحاضر، والتي تسعى العديد من الشركات لتطويرها وتصنيع أنماط حديثة منها تمتاز بسرعة الشحن والسعة التخزينية لها، كما يتم العمل على اختصار حجمها بما يتناسب مع توفير الموارد اللازمة لعملية تصنيعها.

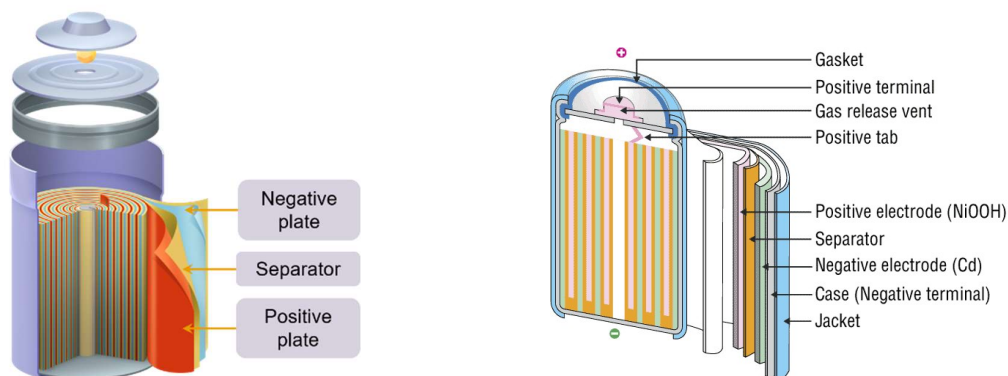
سنعرض هنا بعض الأمثلة عن هذا النوع من المدخرات، التي تصادفها في الأجهزة الإلكترونية كالهواتف الذكية، الألواح الرقمية والسيارات، وفيما يلي بعضها:

8-I-2-1- مدخرات النيكل - كاديوم Nickel-Cadmium Batteries:

تعد بطارية النيكل والكاديوم مصدراً لجهد التيار المستمر، ونظراً لخصائصها ومزاياها فقد اكتسبت شعبية في الآونة الأخيرة، حيث تستخدم في الألعاب، الآلات الحاسبة، ومحركات التيار المستمر الصغيرة وما إلى ذلك.

فما تتكون هذه المدخرة؟

يتألف هذا النوع من صفيحة أكسيد النيكل والتي تعمل كمهبط Cathode، وصفيحة كاديوم تعمل كمصعد Anode، ومسرى Electrode من هيدروكسيد البوتاسيوم KOH كما هو موضح في الشكل (14-I).



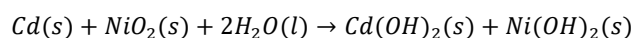
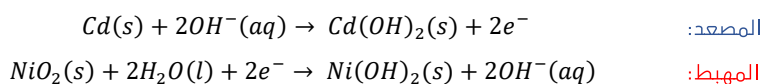
الشكل (14-I):

مخطط مقطعي لبطارية نيكل - كاديوم، حيث تصميم الرول الشبيه بالحلوى مما يزيد بشكل ملحوظ من كمية التيار الذي يمكن أن توفره البطارية مقارنة ببطارية قلووية مماثلة.

يفصل بين الصفائح الموجبة والسالبة عازل Separator يمنعها من التماس فيما بينهم (منع دائرة القصر)، وغالباً ما تكون هذه الطبقة العازلة هي هيدروكسيد البوتاسيوم، علماً أن العازل يجب أن يكون رطباً دائماً.

يتم لف هذه الطبقات على شكل أسطوانة (رول Roll) مع بعضهم البعض ويتم وضع هذا الرول ضمن حقيبة تشكل طوقاً عازلاً Gasket كما هو موضح في الشكل أعلاه.

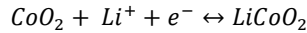
هذا الرول الجيلاتيني صمم ليسمح لخلية النيكل - كاديوم بإيصال تيار أكثر كثيراً مما توصله البطارية القلووية ذات نفس الحجم، وتكون التفاعلات الحاصلة في هذه المدخرة وفق ما يلي:



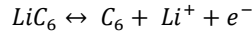
المعادلة الكلية الشاملة

نلاحظ أن الماء وشوارد الهيدروكسيد اللازمة للتفاعل يتم الحصول عليها من الطبقة العازلة، التي كما ذكرنا مكونة من طبقة رطبة من هيدروكسيد البوتاسيوم، أو هيدروكسيد الصوديوم، ونلاحظ ما يلي:

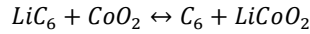
1. **نصف تفاعل الإرجاع:** يحصل هذا التفاعل على المهبط، حيث يتحد أكسيد الكوبالت مع شاردة الليثيوم ليشكل أكسيد الكوبالت والليثيوم وفق التفاعل التالي:



2. **نصف تفاعل الأكسدة:** يحصل هذا التفاعل على المصعد، حيث يشكل كربون الليثيوم شوارد الليثيوم والكربون وفق التفاعل التالي:

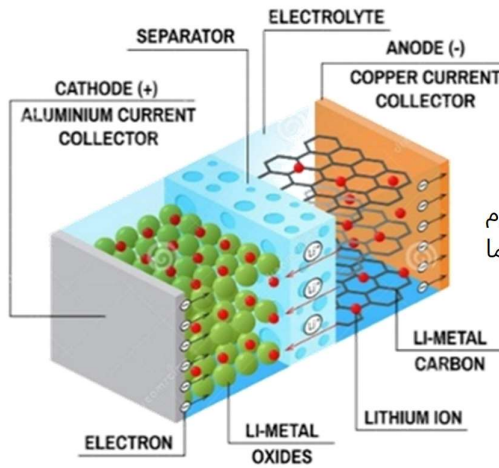


فيكون التفاعل الكلي:



يمثل التفاعل السابق من اليمين للييسار عملية شحن المدخرة، بينما من اليسار للييمين يمثل عملية تفريغ المدخرة.

ما هي آلية الشحن والتفريغ لمدخرة الليثيوم الشارديّة؟



1. عند عملية التفريغ (كتشغيل موبايك على سبيل المثال) تنتقل شوارد الليثيوم الموجبة من المصعد السالب إلى المهبط الموجب من خلال المحلول الكهرليتي عبر الغشاء المسامي الفاصل، يرافقها انتقال الإلكترونات من المصعد إلى المهبط وفق ما هو موضح في المخطط المجاور.

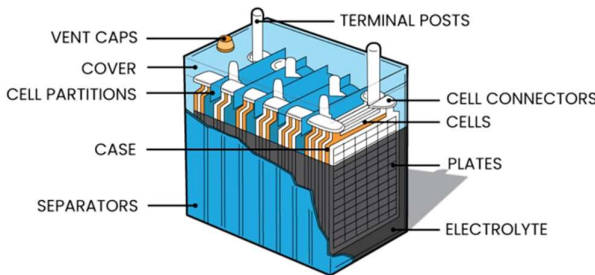
2. عند عملية شحن المدخرة تحدث العملية المعاكسة تماماً، لتعود شوارد الليثيوم من المهبط إلى المصعد، بينما الإلكترونات تنتقل من المصعد إلى المهبط، كما هو موضح في الشكل المرفق جانباً في الأسفل.

يبلغ جهد مدخرة الليثيوم الشارديّة حوالي (3.7 V).

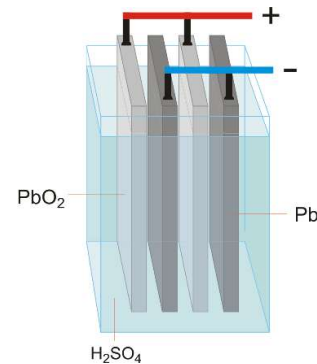
8-1-2-3-مدخرات الرصاص الحمضية Lead Acid Batteries:



هي نوع من المدخرات الثانوية المستخدمة في السيارات وتتواجد بحجوم وأنواع مختلفة، وهي غير مكلفة وقادرة على إنتاج التيار العالي المطلوب من قبل محركات بدء تشغيل السيارات، الشكل (16-1) يبين تكوين مدخرة رصاص حمضية حيث تتكون من أقطاب من أكسيد الرصاص التي تشكل المهبط، وأقطاب من الرصاص التي تشكل المصعد، هذه الأقطاب مغمورة في محلول من حمض الكبريت.



الشكل (17-1): تتكون مدخرة الرصاص الحمضية في سيارتك من ست خلايا متصلة في سلسلة لإعطاء (12 V)، إن التكلفة المنخفضة وإنتاج التيار العالي يجعل منها مرشح ممتاز لتوفير الطاقة لمحركات بدء تشغيل السيارات.

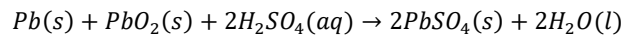
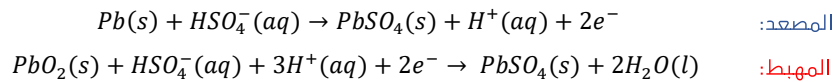


الشكل (16-1): مدخرة الرصاص الحمضية التي تتكون من أقطاب من الرصاص تشكل المصعد، وأقطاب من أكسيد الرصاص تشكل المهبط.

تنتج كل خلية جهد (2 V)، بحيث يتم توصيل ست خلايا في سلسلة لإنتاج بطارية سيارة ذات جهد (12 V) كما هو موضح في الشكل (17-I) في الصفحة السابقة.

يتم ربط الأقطاب الموجبة مع بعضها البعض والسالبة مع بعضها البعض، لتشكل نقاط مشاركة نهائية Terminal Posts، وتفصل بين الخلايا الست فواصل Separators، وتكون جميعها مغمورة في المحلول الكهرليتي لحمض الكبريت.

إن التفاعلات الحاصلة في هذا النوع من المدخرات موضحة فيما يلي:

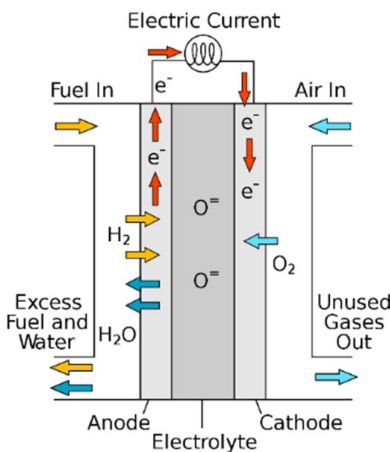


المعادلة الكلية الشاملة

مدخرات الرصاص الحمضية ثقيلة، وتحتوي على سائل شاردي نتيجة التحلل الكهربائي، ولكنها غالباً ما تكون المدخرة المفضلة بسبب كثافة تيارها المرتفع.

تنبيه: بما أن هذه المدخرات تحتوي على كمية كبيرة من الرصاص، فيجب التخلص منها بشكل صحيح دائماً نظراً للسمية العالية له على الكائنات الحية بجميع أصنافها.

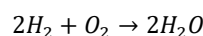
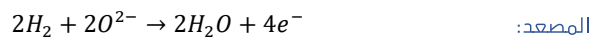
8-I-3- مدخرات (خلايا) الوقود Fuel Cell



الشكل (18-I): في هذه الرسم التخطيطي لخلية وقود هيدروجينية، يتفاعل الأكسجين من الهواء مع الهيدروجين وينتج الماء والكهرباء.

عبارة عن مدخرات تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية. تشبه خلايا الوقود المدخرات الأخرى ولكنها تتطلب مصدراً مستمراً للوقود، وغالباً ما يكون الهيدروجين، حيث تستمر هذه الخلية في إنتاج الكهرباء طالما أن الوقود متوفر. استخدمت خلايا الوقود الهيدروجيني Hydrogen Fuel Cells لتزويد الأقمار الصناعية وكبسولات الفضاء، والسيارات، والقوارب، والغواصات بالطاقة. في حالة خلية وقود الهيدروجين، فإن الناتج يكون هو الماء فقط كعادم، لذلك تعتبر هذه الخلايا من الخلايا التي يتم العمل على تطويرها للمساعدة على تخفيف ظاهرة الاحتباس الحراري الناتجة عن الغازات الدفيئة. يظهر في الشكل (18-I) المجاور مخطط تفصيلي لخلية وقود هيدروجيني.

يمكن إيضاح التفاعلات الحاصلة في خلايا الوقود وفق ما يلي:



المعادلة الكلية الشاملة

8-I-3-1- مكونات خلايا الوقود

هناك العديد من أنواع خلايا الوقود، لكنها جميعاً تتكون من:

1. غشاء كهربي بوليميري Polymer Electrolyte Membrane:

لخلايا الوقود أنواع عدة تعتمد على نوع الغشاء الذي يفصل بين قطبيها، ولعل من أهمها خلايا الوقود ذات الغشاء البوليميري المنقوع بالكهرليتات PEM (Polymer Electrolyte Membrane) أو ما يمكن تسميتها خلايا وقود غشاء تبادل البروتون (Proton-exchange membrane fuel cells) PEMFCs.

هذه الأغشية معالجة بشكل خاص، بحيث لا توصل إلا الشوارد الموجبة الشحنة وتحجب انتقال الإلكترونات، إن PEM هو مفتاح تقنية خلايا الوقود، الذي يجب أن يسمح فقط للشوارد الضرورية بالمرور بين المصعد والمهبط (غالباً شوارد الهيدروجين)، لأن مرور مواد أخرى عبر الكهرليت قد تعطل التفاعل الكيميائي، وهذه الأغشية رقيقة جداً حيث تصل في بعض الحالات إلى أقل من 20 ميكرون.

2. طبقات المحفز Catalyst Layers:

يتم إضافة طبقة من المحفز على جانبي الغشاء، طبقة المصعد على أحد جانبي الغشاء وطبقة المهبط على الجانب الآخر.

تشتمل طبقات المحفز التقليدية Conventional على جسيمات نانوية Nanometer- Sized Particles من البلاتين المشتتة على دعامة كربونية ذات مساحة سطحية عالية.

يتم خلط هذا المحفز البلاتيني المدعوم مع بوليمر موصل للشوارد Ionomer، ويتم وضعه بين الغشاء وطبقات انتشار الغاز GDLS.

على جانب المصعد يمكن محفز البلاتين (يمكن استخدام محفز من النيكل على المهبط) جزيئات الهيدروجين من الانقسام Split إلى بروتونات وإلكترونات، بينما على جانب المهبط يتيح محفز البلاتين عملية ارجاع الأكسجين من خلال التفاعل مع البروتونات الناتجة عن المصعد مما ينتج عنه الماء، هذا البوليمير الموصل للشوارد في طبقات المحفز يسمح للبروتونات بالانتقال عبر هذه الطبقات.

3. طبقات انتشار الغاز Gas Diffusion Layers GDLS:

توجد طبقات انتشار الغاز GDLS خارج طبقات المحفز، حيث تعمل على:

- تسهيل نقل المواد المتفاعلة إلى طبقة المحفز.
- إزالة الماء الناتج عن التفاعل.

تتكون كل طبقة بشكل نموذجي Typically من ورقة من ورق الكربون، يتم فيها تغليف ألياف الكربون جزئياً ببولي تترافلورو إيثيلين PTFE، تنتشر الغازات بسرعة عبر المسام في طبقة انتشار الغاز حيث يتم إبقاء هذه المسام مفتوحة بواسطة مادة PTFE الطاردة للماء، مما يمنع تراكم الماء الزائد.

في كثير من الحالات يتم طلاء السطح الداخلي لـ GDL بطبقة رقيقة من الكربون عالي المساحة السطحية، ممزوجاً ببولي تترافلورو إيثيلين PTFE، تسمى الطبقة الصغيرة التي يسهل اختراقها Microporous layer، يمكن أن تساعد هذه الطبقة في ضبط التوازن بين احتباس الماء Water Retention (الضروري للحفاظ على توصيل الغشاء) وتحرير الماء Water Release (الضروري لإبقاء المسام Pores مفتوحة حتى ينتشر الهيدروجين والأكسجين في الأقطاب الكهربائية).

يشكل كل من الغشاء الكهربي البوليميري PEM وطبقات المحفز وطبقات انتشار الغاز GDLS مع بعضها تجمعاً يدعى **تجمع القطب الغشائي MEA (Membrane Electrode Assembly)**.

4. لوحات ثنائية القطب Bipolar Plates:

ينتج كل تجمع قطب غشائي MEA أقل من (1 V) في ظل ظروف التشغيل النموذجية، لكن معظم التطبيقات تتطلب جهداً أعلى، لذلك يتم توصيل العديد من تجمعات الأقطاب الغشائية في سلسلة، عن طريق ترابطها Stacking فوق بعضها البعض لتوفير جهد خرج قابل للاستخدام.

تقع كل خلية في السلسلة المترابطة بين لوحين ثنائي القطب لفصلها عن الخلايا المجاورة، توفر هذه الألواح، التي قد تكون مصنوعة من معدن أو كربون أو مركبات، وصلاً كهربائياً بين الخلايا المفردة MEA، فضلاً عن توفير القوة الفيزيائية للسلسلة المترابطة.

تحتوي أسطح الألواح عادةً على مجموعة من القنوات (أخاديد)، التي تم تشكيلها أو ختمها في اللوحة للسماح بتدفق الغازات عبر تجمع القطب الغشائي، كما يمكن استخدام قنوات إضافية داخل كل لوحة لتدوير سائل تبريد.

5. جوانات للغاز Gaskets.

تضاف هذه الجوانات حول حواف اللوحات ثنائية القطب لمنع تسرب الغازات، وغالباً من تكون مصنوعة من بوليمير مطاطي Rubbery Polymer.

8-I-3-2- ألية عمل خلايا الوقود

1. يدخل الوقود من فتحة التزويد Fuel In، حيث يتسبب المحفز Catalyst في المصعد والذي يكون عبارة عن مسحوق البلاثين Platinum Powder بخضوع الوقود لتفاعلات الأكسدة، التي تولد الشوارد (شوارد الهيدروجين موجبة الشحنة) والإلكترونات عن طريق تحطيم هذا الوقود.
2. تنتقل شوارد الهيدروجين H^+ من القطب الموجب (المصعد) إلى القطب السالب (المهبط)، عبر المحلول الكهرليتي والذي غالباً ما يكون محلول هيدروكسيد البوتاسيوم، في حين تنتقل الإلكترونات الناتجة عبر المصعد إلى الدارة المراد تشغيلها ومن ثم إلى المهبط.
3. على المهبط يقوم أحد المحفزات، غالباً النيكل، بتحويل شوارد الهيدروجين إلى الماء الذي يخرج مخرج الغازات الغير مستخدمة Unused Gases Out مع الأكسجين غير المتفاعل، في حين أن الإلكترونات تقوم بتحويل الأكسجين الداخل إلى الخلية من فتحة تزويد الهواء Air In إلى شوارد الأكسجين السالبة O^{2-} وذلك كما هو موضح وفق الشكل (I-18) في الصفحة 39.

8-I-3-3- ميزات خلايا الوقود

1. خلايا الوقود بشكل عام رقيقة جداً، قد يصل عرضها إلى بضعة ميليترات، ويبلغ جهد هذه الخلايا ما يقارب (0.9 V) وهو جهد منخفض، لذلك يتم وصل مجموعة من خلايا الوقود مع بعضها البعض للحصول على الجهد المطلوب لتلبية متطلبات التطبيق.
2. إن كفاءة خلايا الوقود عادة ما تكون بين (40% - 60%)، والسبب يعود لإنبعاث الحرارة التي إذا وجدت طريقة لتقيدها سترتفع الكفاءة إلى (85%)، ورغم ذلك فكفاءة خلايا الوقود أعلى من كفاءة محرك الاحتراق الداخلي النموذجي الذي يبلغ (25% - 35%).

لماذا لا تستخدم خلايا الوقود بكثرة حتى هذا الوقت؟

إن خلايا الوقود في الوقت الحالي باهظة الثمن، وتحتوي على ميزات تجعلها تفشل بعد فترة قصيرة نسبياً، وما زالت الأبحاث جارية بإمكانات علمية ومادية هائلة لتطوير هذا النوع من الخلايا، لتحل بدلاً عن النفط الذي يعاني انخفاضاً كبيراً في مخزونه يقوده خلال هذا القرن للنضوب، إضافةً لذلك، إن خلايا الوقود تؤدي لتخفيف الاحتباس الحراري للأرض كما ذكرنا.

بما أن خلايا الوقود تعتمد بشكل أساسي على وقود الهيدروجين في عملها، سنتعرف في هذه الفقرة على الهيدروجين وطرق الحصول عليه.

9-I - الهيدروجين The Hydrogen

غاز خفيف يعتبر أساس عمليات خلايا الوقود، وهو عبارة عن غاز قابل للاشتعال، وحالياً التوجهات العالمية تسير نحو استخدامه كوقود محرك للعديد من الآلات والصناعات، حيث هناك نوعان من الهيدروجين يعتمدان على طريقة التحضير، ولا يختلفان في خواصهما عن بعضهما البعض.

فما هي أنواع الهيدروجين؟

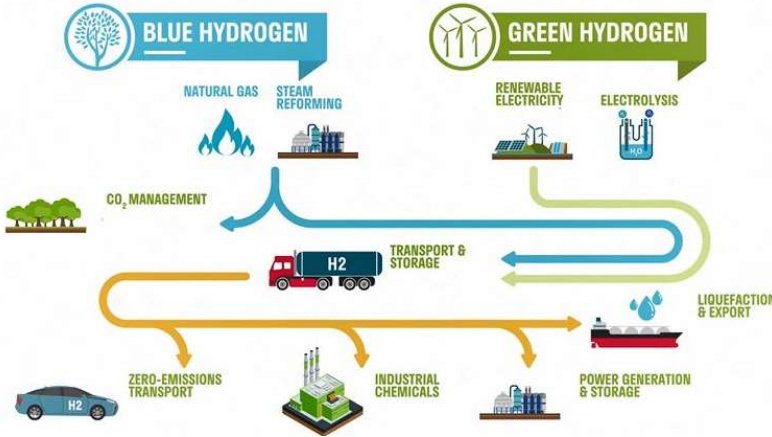
1. الهيدروجين الأخضر:

هو الهيدروجين الذي يتم إنتاجه دون أي انبعاثات ضارة على الكوكب، أي دون انبعاث غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2)، ويتم الحصول عليه غالباً من عمليات التحليل الكهربائي للماء التي سنتعرف عليها في المحاضرات القادمة.

2. الهيدروجين الأزرق:

هو الهيدروجين الذي يتم إنتاجه مترافقاً مع انبعاثات من غاز ثنائي أكسيد الكربون، وغالباً ما يتم إنتاجه عن طريق عمليات الاحتراق لبعض الغازات كغاز الميثان مثلاً.

المخطط ضمن الشكل (19-1) يوضح هذا الاختلاف كما يوضح مجالات الاستفادة منه.



الشكل (19-1): الاختلاف في طرق الحصول على الهيدروجين، حيث نلاحظ أنه من خلال عمليات الاحتراق نحصل على الهيدروجين مع انبعاثات مترافقة من غاز ثنائي أكسيد الكربون، وهو ما يطلق عليه الهيدروجين الأزرق Blue Hydrogen، بينما عن طريق التحليل الكهربائي للماء نحصل على غاز الهيدروجين مع غاز الأكسجين دون انبعاثات حرارية من غاز ثنائي أكسيد الكربون، وهو ما يطلق عليه اسم الهيدروجين الأخضر green Hydrogen.

هل يولد احتراق الهيدروجين غازات دفيئة (غازي ثنائي أكسيد الكربون)؟

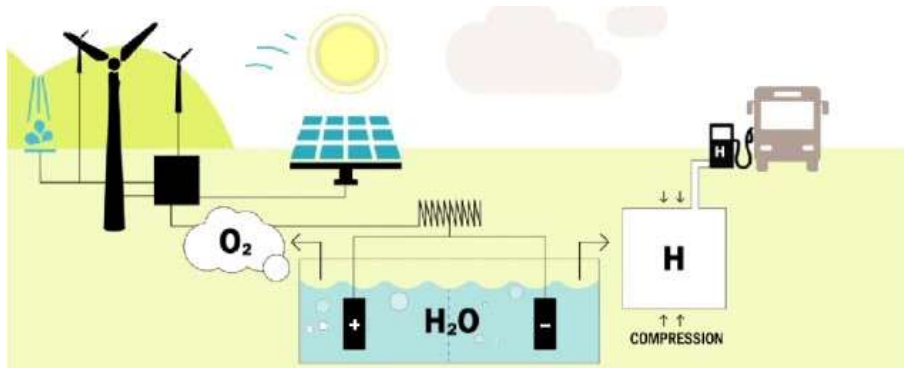
لا ينتج الهيدروجين انبعاث للغازات الدفيئة عند حرقه، وإنما ينبعث أثناء حرقه بخار الماء (H₂O)، ولكن الطريقة المستخدمة لإنتاجه يمكن أن تحدد مدى ملاءمته للبيئة وهو ما قصدنا به الهيدروجين الأخضر (لا يرافقه إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون) أو الهيدروجين الأزرق (يرافقه إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون).

ينتج الهيدروجين اليوم عادة من الغاز الطبيعي (أي الهيدروجين الأزرق)، والسبب في ذلك أنه أرخص طريقة متاحة، ولكن كما ذكرنا فإن العيب في هذه الطريقة أنه لا ينتج الهيدروجين فقط وإنما غاز ثاني أكسيد الكربون، أي أننا هنا نجمع بين إنتاج الهيدروجين واحتجاز الكربون وتخزينه، وهذا يتطلب مرافق واستثمارات ضخمة، إضافة إلى الضرر الناتج عن زيادة نسبة غاز ثنائي أكسيد الكربون في الجو (ما يعرف بالغازات الدفيئة) والذي يؤثر بشكل كبير على كوكب الأرض من خلال ظاهرة الاحتباس الحراري Global Warming.

إذا ما الصعوبات التي تواجه إنتاج الهيدروجين الأخضر؟

تتمثل هذه الصعوبات في أن عملية الحصول على الهيدروجين الأخضر تتطلب الكهرباء (اللازمة للتحليل الكهربائي للماء) أكثر من الكمية التي يمكننا الحصول عليها من خلية وقود، ونظراً لأن الطاقة هي العامل الأكثر تكلفة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، فمن الأفضل أن يكون لديك مصدر جاهز للكهرباء المتجددة الرخيصة، والقدرة على إنتاج الهيدروجين عندما تكون أسعار الكهرباء عند أدنى مستوياتها، وهذا ما تسعى له الشركات العاملة في مجال الطاقة ومنها شركة STATKRAFT الأوروبية التي تعمل على إنتاج الطاقة المتجددة من خلال الطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية وذلك كما هو موضح في المخطط الموضح في الشكل (20-1).

يعد تشغيل المركبات التي تعمل بخلايا الوقود أحد أكثر التطبيقات التي يتم الاستشهاد بها في كثير من الأحيان للهيدروجين الأخضر، ولكن يبقى أن نرى ما إذا كانت السيارات التي تعمل بخلايا الوقود يمكن أن تكتسب قوة دفع، مع تحول أسواق السيارات من محركات الاحتراق الداخلي إلى السيارات التي تعمل بالبطاريات ذات التكلفة التنافسية المتزايدة، وهي إحدى التحديات الهامة في هذا المجال.

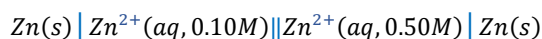


الشكل (I-20): مخطط يبين طريقة الحصول على الهيدروجين الأخضر عن طريق التحليل الكهربائي للماء، حيث يتم استخراج الطاقة الكهربائية اللازمة للعملية عن طريق الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وهو المبدأ الذي تعمل عليه شركة STATKRAFT الأوربية.

مثال توضيحي (I-8):

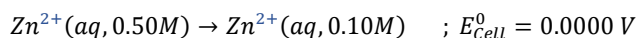
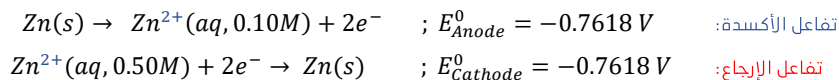
(هذا المثال يدعم مفهوم خلايا التركيز)

ما هو كمون الخلية لخلية التركيز الموصوفة وفق ما يلي:



الحل:

من خلال المعلومات التي يعطيها الوصف، ومن (الجدول I-1) في الصفحة 26 من المحاضرة السابقة نجد:



المعادلة الكلية الشاملة

إن كمون الخلية القياسي هو صفر لأن المصعد والمهبط يتضمنان ذات التفاعل، وتركيز شوارد الزنك Zn^{2+} هو فقط من يتغير.

بالتعويض في معادلة نيرنست نجد:

$$E_{Cell} = E_{Cell}^{\circ} - \frac{0.0592 V}{n} \log Q$$

$$E_{Cell} = 0.0000 V - \frac{0.0592 V}{2} \log \frac{0.10}{0.50} = +0.021 V$$

وبالتالي العملية تلقائية عند هذه الشروط.

التحقق من صحة الحل (ينفذ من قبل الطالب للتأكد من سلامة الحل):

في خلايا التركيز يكون كمون الخلية دائماً مساوياً للصفر، للحصول على كمون خلية موجب (عملية تلقائية) يجب أن يكون حاصل التفاعل $Q < 1$ ، أي أصغر من الواحد، لذلك في هذه الحالة التفاعل تلقائي والحل لدينا صحيح.

مثال غير محلول (6-1):

ما هي قيمة حاصل التفاعل Q لخلية التركيز في المثال التوضيحي (1-8) السابق الذي سينتج كمون مقداره (0.10 V)؟
إذا كان تركيز شوار الزنك عند المهبط Cathode مساوياً (0.50 M)، ماذا سيكون التركيز على المصعد؟

$$\text{الحل: } [Zn^{2+}]_{\text{cathode}} = 2.1 \times 10^{-4} M ; Q = 0.00042$$

مثال غير محلول (7-1):

هل يمكننا في خلايا التركيز استخدام أقطاب خاملة؟ ما هي الحالات التي يمكن فيها استخدامها؟

**تساؤلات:**

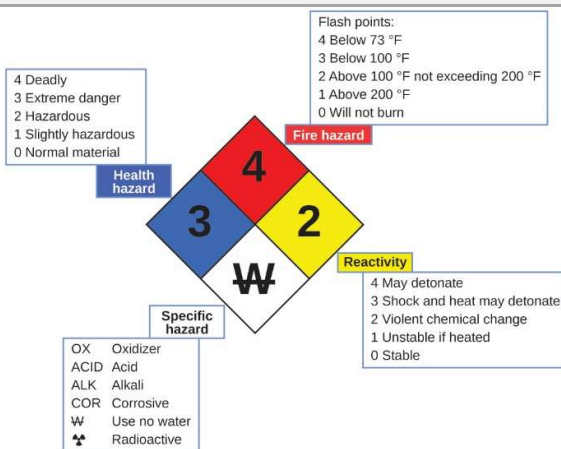
قد يخطر ببال أحدكم هذا السؤال: لماذا في الجدول الدوري تكون كتلة الكربون الطبيعي مساوية لـ (12.01 amu) وليس (12 amu)؟



الإجابة تتوضح من خلال ما يلي:
السبب لأن الكربون يتواجد على الأرض (الكربون الطبيعي) من مزيج من النظائر ^{12}C ، ^{13}C ، والنظير ^{14}C ، جميع هذه النظائر تمتلك 6 بروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات حيث تمتلك 6، 7، 8 نيوترونات على الترتيب. بما أن الكربون على وجه الأرض يتواجد على شكل مزيج من هذه النظائر، لذلك يجب أن تعكس الكتلة الذرية نسبة هذه المزائج من النظائر في الكربون.
وبما أن الكربون على الأرض مكون من 98.89% من النظير ^{12}C ، و 1.11% من النظير ^{13}C ، وكمية ضئيلة جداً من النظير ^{14}C التي يمكن إهمالها، واعتماداً على الكتلة الذرية للنظير ^{12}C التي تساوي 12 amu، والكتلة الذرية للنظير ^{13}C التي تساوي 13.0034 amu، يمكننا حساب متوسط الكتلة الذرية للكربون الطبيعي وفق ما يلي:
$$98.89\% (12 \text{ amu}) + 1.11\% (13.003355 \text{ amu}) = (0.9889)(12 \text{ amu}) + (0.0111) (13.0034 \text{ amu})$$

$$= 12.01 \text{ amu}$$

هل وضحت الفكرة؟

**الكيمياء في حياتنا اليومية (مطالعة)****رمز الماس الخطر (أو الماس الناري)
Hazard Diamond (Fire Diamond)**

كثيراً ما نشاهد الرمز الموضح في الشكل المجاور على حاويات المواد الكيميائية في المختبر أو مكان العمل وهو ما يعرف بـ **مماس الخطر Hazard Diamond**. يُطلق عليه أحياناً اسم الماس الناري أو الماس الخطر، حيث يوفر هذا الرمز معلومات قيمة تلخص بإيجاز المخاطر المختلفة التي يجب أن تكون على دراية بها عند التعامل مع مادة معينة.
داخل رمز الماس الكلي نجد:
• يحدد الماس العلوي (الأحمر) مستوى خطر الحريق (نطاق درجة الحرارة لنقطة الوميض).
• يشير الماس الأيسر (الأزرق) إلى مستوى المخاطر الصحية.
• يصف الماس الأيمن (الأصفر) مخاطر التفاعل، مثل مدى سهولة تعرض المادة للانفجار أو تغيير كيميائي عنيف.
• يشير الماس السفلي (الأبيض) إلى مخاطر خاصة، مثل ما إذا كانت المادة مؤكسدة (الذي يسمح للمادة بالحرق في حالة عدم وجود هواء / أكسجين)، أو مادة تخضع لعملية غير عادية أو خطيرة مثل التفاعل مع الماء، التآكل، مادة حمضية، قلووية، خطر بيولوجي، خطر مشع، وما إلى ذلك.
كل خطر يتم تصنيفه على مقياس من 0 إلى 4، حيث يشير الصفر إلى عدم وجود خطر، بينما 4 يمثل خطورة بالغة.

لا شيء يولد من عدم، وكذلك المعرفة

المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

Key Concepts and Summary

في بداية هذه المحاضرة تناولنا مفهوم خلايا التركيز، ووجدنا أنها خلايا فولتية تمتلك ذات النوع من المساري عند تراكيز مختلفة للمحاليل، ووجدنا أن حركة الإلكترونات فيها تكون من المصعد ذي التركيز المنخفض، إلى المهبط ذي التركيز المرتفع.

ثم تناولنا مفهوم المدخرات Batteries، ووجدنا أن المدخرات هي خلايا غلفانية، أو سلسلة من الخلايا تنتج تياراً كهربائياً اعتماداً على تفاعلات كيميائية (أكسدة وإرجاع) تحدث ضمنها، كما تناولنا أنواعها المختلفة ووجدنا أن المدخرات الأولية هي مدخرات "الاستخدام الواحد" ولا يمكن إعادة شحنها، من أمثلة هذا النوع وجدنا الخلايا الجافة و (معظم) المدخرات القلوية، أما النوع الثاني فهو المدخرات الثانوية القابلة للشحن وهي الأكثر شيوعاً، وتطرقنا إلى عدة أنواع منها مثل مدخرات نيكل - كادميوم (NiCd)، مدخرات الرصاص الحمضية، ومدخرات الليثيوم الشاردية الأكثر شيوعاً.

كما تطرقنا للنوع الثالث الذي يدعى خلايا الوقود، ووجدنا أنها تشبه المدخرات في أنها تولد تياراً كهربائياً، ولكنها تتطلب إضافة مستمرة للوقود، وتناولنا أهم مكوناتها وطريقة عملها، ثم اختتمنا المحاضرة بالتعرف على أنواع الهيدروجين الذي يعتبر المحرك في خلايا الوقود لما له من أهمية تطبيقية، تسعى كل دول العالم لتطوير تطبيقاته ليكون مناسباً للوقود العادي، من خلال تطوير بنية خلايا الوقود وزيادة جهد الخلية، لأجل تشغيل التطبيقات التي تحتاج الطاقة بجهد أعلى.

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 2026/04/25 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

- ✓ وصف الخلايا الإلكترونية (الكهرليبية) وعلاقتها بالخلايا الغلفانية.
- ✓ إجراء حسابات مختلفة تتعلق بالتحليل الكهربائي.

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

د. سعود عبد الحليم كده