جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كليـة الرياضيـات وعلوم المادة ـ قسم الفيزياء
ماستر فيزياء طاقوية وطاقات متجددة
28 أفريل 2019

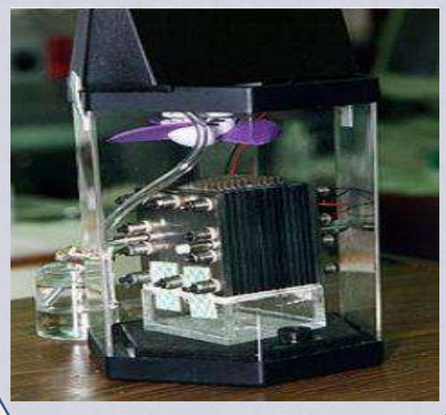
دراسة الظواهر الترموديناميكية في خلية وقود الأكسيد الصلب الأنبوبية SOFC

الأستاذ المشرف: محسن حسين
من إعداد الطالبتين: بن محمد أسماء ، سليليح فاطمة

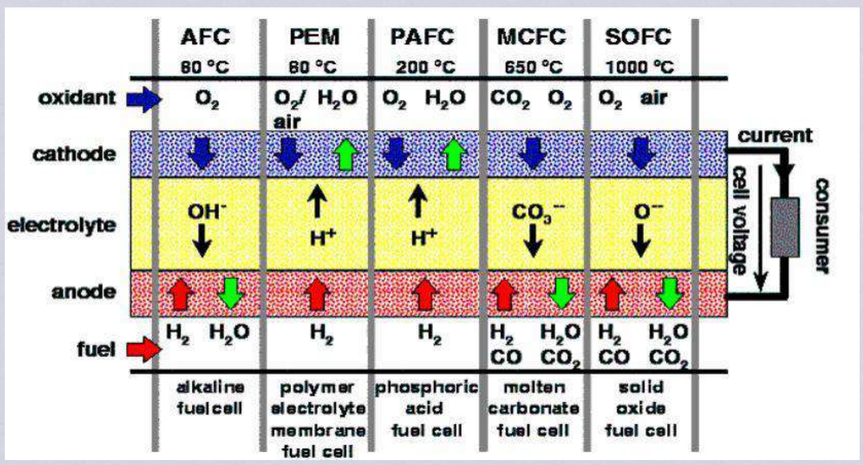
ملخص:
تتنوع تطبيقات خلايا وقود الأكسيد الصلب من توليد الطاقة الكهربائية إلى تطبيقات متنوعة أخرى، حيث إن هناك العديد من الأبحاث والدراسات التي تناولت هذا الموضوع، نتطرق في عملنا هذا إلى أحد أشكال هذه الخلايا ألا وهو الشكل الأنبوبي حيث تطرقنا لمعرفة تكوين وتركيب الخلية وفهم مبدأ تشغيلها وآلية عملها بالإضافة إلى التطرق لمجموعة من الدراسات والنماذج التي قام بها باحثون اهتموا بهذا المجال من حيث جوانب مختلفة ومتعددة، وعملنا هذا هو بحث نظري يهدف لدراسة مختلف الظواهر الفيزيائية التي تحدث داخل خلية الوقود كانتقال الحرارة، الكتلة، الأنواع الكيميائية.

1.مقدمة :

في ظل تزايد الطلب العالمي على الطاقة حيث أن استخدامها وتأثيرها على البيئة أحد أهم القضايا التي يواجهها العالم، يشكل إيجاد مصادر فعالة، متجددة، غير مكلفة وصديقة للبيئة تحدياً حقيقياً، كانت الفكرة الأساسية التي اعتمد عليها لابتكار خلايا الوقود هو أنه إذا تمكنا من فصل الماء إلى مكوناته بالكهرباء نستطيع القيام بالعكس ومن هنا كان ظهور مفهوم خلايا الوقود والذي يعود الفضل فيه للسيد ويليام روبرت جروف القرن 19 ميلادي .
خلايا الوقود بمختلف أنواعها واحدة من أنظف وأكثر أنظمة الطاقة استخداماً حيث تعتمد على تحويل الطاقة المخزنة في الوقود عبر تفاعل كيميائي إلى طاقة كهربائية مباشرة بالإضافة إلى حرارة وماء يمكن استغلالها، من ضمن عدة أنواع من خلايا الوقود نهتم بدراسة خلية وقود الأكسيد الصلب SOFC الأنبوبية.



2.أشهر أنواع خلايا الوقود:



مقارنة بين مختلف أنواع خلايا الوقود [5]

3.خلية الوقود ومبدأ عملها:

هي جهاز كهروكيميائي يحول الطاقة المخزنة في الوقود مباشرة إلى طاقة كهربائية عن طريق التفاعلات الكهروكيميائية ، مبدأ العمل مشابه لمبدأ البطارية. ومع ذلك، هناك اختلاف في أنه في البطارية تتفاعل المكونات نفسها في عملية تحويل الطاقة، بينما في خلية الوقود يتم توفير الوقود فيتدفق ويتم إزالة منتجات التفاعلات بشكل مستمر، أي يمكنها العمل باستمرار طالما تم توفير الوقود وإزالة النواتج .[1]

$$O_{2(g)} + 2H_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(g)}$$

4. مفهوم النمذجة الرياضية:

تقدم النماذج الرياضية أداة ملحوظة لا غنى عنها للموافقة على التصميمات المقترحة وتحسين أداء خلايا الوقود [1]، يتكون النموذج الرياضي للظاهرة من معادلات ترتبط بالعديد من المعايير المهمة ويتم الحصول على هذه العلاقات من خلال التعبير رياضيًا عن النموذج المادي، بمعنى آخر النموذج الرياضي هو تمثيل رياضي للنموذج المادي الذي يحدد المعالم المهمة في عملية معقدة ويشرح كيفية ارتباطها باستخدام القوانين الأساسية.[2]

5.أمثلة عن أهم الأعمال:

- **مولي بارزي Y.Mollayi Barzi (2009) :**

طوّر نموذج ثنائي الأبعاد (2D) لخلية SOFC أنبوبية الشكل باستخدام طريقة الحجوم المحدودة لحل معادلة الانتقال غير الخطية، وقام بمعايرة العوامل الكهروكيميائية : الضغط، درجة الحرارة والتراكيز المحلية للأنواع.

$$\frac{\partial\left(\rho c_p T\right)}{\partial t}+\frac{\partial\left(\rho c_p uT\right)}{\partial x}+\frac{1}{r}\frac{\partial\left(\rho c_p vT\right)}{\partial r}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial x}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\dot{Q}$$

- **بدرو نوذر Bedro Noether (2006):**

درس خلية وقود من النوع SOFC طوّر برنامج التشغيل لتحديد وحساب توزيع العوامل المادية: درجة الحرارة، الجهد والأنواع الكيميائية، والهدف هو مقارنة نموذجين مختلفين في حالة مستقرة وأظهرت نتائج المحاكاة أن التصميم المتتالي للخلية قادر على العمل تحت فولتية أعلى.

انتقال الحرارة بالتوصيل: الجزء الصلب

$$\frac{\partial T}{\partial \tau}=a.\,div.grad\,T+\frac{\dot{q}}{\rho C_p}$$

في الاتجاه المحوري:

في الاتجاه الشعاعي:

$$div.grad\,T=\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r}+\frac{\partial^2 T}{\partial r^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial rz^2}$$

انتقال الحرارة بالحمل: بين

$$\dot{q}=\frac{a(Nu)}{\Delta r}\left(\vartheta_{solid}-\vartheta_{fluide}\right)=\frac{1}{\Delta r\Delta A}\Delta\dot{H}_{fluide}$$

انتقال الحرارة بالإشعاع: بين الكاثود و أنـ

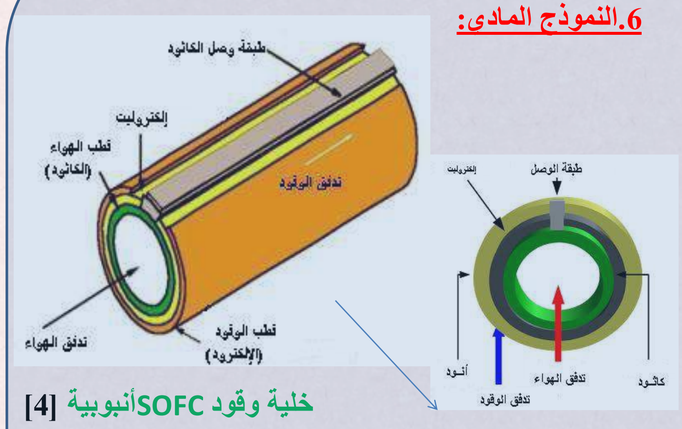
$$\dot{q}_{rad}=\frac{C_{ca,ft}}{\Delta r}\left[\left(\frac{T_{ca}}{100}\right)^4-\left(\frac{T_{ft}}{100}\right)^4\right]$$

- **غراهام م . غولدينغ Ghraham M.Golding(2009):**

قام بتطوير وتطبيق نموذج ثلاثي الأبعاد CFD في خلية SOFC التي يتم فيها دراسة خصائص تدفق المائع وانتقال الطاقة الحرارية. [3]

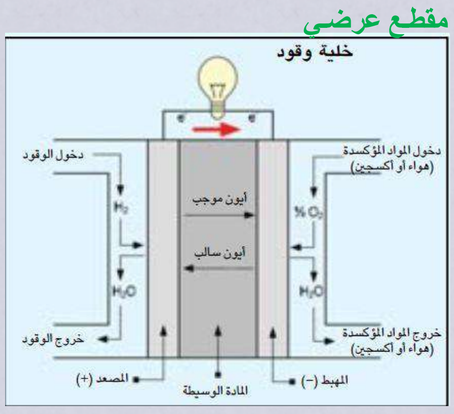
$$\nabla.(\rho hV)=\nabla.\left(\lambda\nabla T-\sum_{k=1}^{k_g}h_k J_k\right)$$

6.النموذج المادي:



خلية وقود SOFCأنبوبية [4]

مقطع عرضي



شكل يوضح مبدأ عمل خلية الوقود بشكل عام

7.الفرضيات تبسيط الدراسة:

- التدفق دائم $\frac{\partial}{\partial t}=0$.
- يتم اعتبار الغازات والمواد المتفاعلة كغازات مثالية $\frac{P}{\rho}=r*T$.
- الحرارة بالتوصيل وبالإشعاع في القنوات مهملة.
- الوسط المسامي متجانس (متماثل الخواص).
- التدفق في الوسط المسامي (الأقطاب الكهربائية) هو طبقة صفائحية في بعدين (2D).[5]

8.المعادلات المنظمة للظاهرة:

تكتب في الإحداثيات الأسطوانية r،z على الشكل :

•معادلة حفظ الطاقة[6]:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r.\lambda_{eff,n}.\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_{eff,n}.\frac{\partial T}{\partial y}\right)+S_{tot,n}=0$$

n = éle,an,cat

•معادلة حفظ الأنواع الكيميائية:

$$\frac{\partial}{\partial r}(\rho u X_k)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho v X_k)=\frac{\partial}{\partial r}\left(D_{eff}.\frac{\partial X_k}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_{eff}.\frac{\partial X_k}{\partial z}\right)+S_k$$

•معادلة حفظ كمية الحركة:

$$\rho_k u_k.\frac{\partial u_{(i)k}}{\partial x_{(i)}}+\rho_k v_k.\frac{\partial u_{(i)k}}{\partial x_{(j)}}=\frac{\partial}{\partial x_{(i)}}\left[\mu_k.\frac{\partial u_{(i)k}}{\partial x_{(i)}}\right]+\frac{\partial}{\partial x_{(j)}}\left[\mu_k.\frac{\partial u_{(j)k}}{\partial x_{(j)}}\right]+S_{(i)k}$$

•معادلة حفظ الكتلة(الاستمرارية):

$$\frac{\partial}{\partial r}(\rho_m u_m)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho_m v_m)=0$$

9.المراجع:

[1] Hocine Mohcene . Etude des causes d'augmentation de la température dans une pile à oxyde solide (SOFC) :Etude bidimensionnelle du champ de température. 2012 . UKM Ouargla .
[2] Raju Pakalapati . A Numerical Study Of Current Distribution Inside The Cathode And Electrolyte Of A Solide Oxide Fuel Cell . 2003 . West Virginia University.
[3] Abdessemed soumia . Contrribution à l'Etude du Transfert de Challeur Radiatif dans une pile à compustible à oxyde solide . 2010 . Université de Hadj lakhdar Batna.
[4] Marjan Soltanzadeh , Marten Ternan, David Taylor, Elena Baranova. Modeling Triple Phase Boundary(TPE) in Solid Oxide Fuel Cell(SOFC) Anode . 2010 . University of Ottawa, Canada.
[5] Timo Jacob. Introduction to Fuel Cells. December 14, 2004. pp 4.
[6] Nettari Mohammed . Simulation numérique du phénomène de transfert de chaleur dans une pile à combustible à oxyde solide (SOFC) de type Tubulaire. 2017 . UKM Ouargla.