

حسابات ثوابت الخلية ومعاملاتها عند الطاقات الحرارية لخلايا مفاعلات الماء المضغوط باستخدام البرنامجين Leopard & Thermos-OTA

محمد حيدر محمد الطويل

جامعة الكوفة /كلية العلوم/قسم الفيزياء

الخلاصة

حسابات ثوابت الخلية والمقاطع العرضية ومعاملاتها (η, f) عند المجموعة الطاقية الحرارية لعدة خلايا تستخدم في مفاعلات الماء المضغوط , ذات شكلين هندسيين الرباعي والسداسي و وقود مختلف ($PUO_2 - UO_2, UO_2$) ودرجة تخصيب مختلفة أجريت الحسابات باستخدام البرنامجين العالميين Thermos-OTA و طبقت على الخلايا المرجعية, NB-1, NB-2, NB-3, NB-4, NB-5 , خلية المفاعل LOFT قد استخدمت في إجراء الحسابات وكانت نسبة الخطأ المطلق النسبي لا تتجاوز 1% , ولابد من الإشارة إلى أن النتائج المستخلصة من برنامج Thermos-OTA هي أكثر دقة من برنامج Leopard وبالأخص خلية مفاعل LOFT .

Thermal Cell Calculation for PWR Cells Using Leopard and Thermos – OAT Codes

Muhammad H. M. Al-Taweel

Kufa university / Science college / physics Dep.

Abstract

Thermal cell calculation for PWR was carried out . Thermal cross sections , group constants and their coefficients (η, f) for several cells with square and hexagonal geometry for different fuels (UO_2 , $PUO_2 - UO_2$) and different enrichments had been calculated using Leopard and Thermos – OTA codes .

NB-1 , NB-2 , NB-3 , NB-4 , NB-5 and LOFT cell were used as benchmarks , the absolute relative percentage error in the results did not exceed (1%) . One must mention that the results obtained by Thermos– OTA are more accurate by Leopard specially for LOFT cell .

التدفق النيوتروني هو دالة للطاقة والمكان , ويحدد باستخدام برامج تعتمد على التمثيل التكاملي لنظرية الانتقال والانتشار النيوتروني [2]

1.2 البرامج المستخدمة

1.1.2 البرنامج Leopard [3]

برنامج يحل معادلة الانتقال النيوتروني لعدد من المجاميع الطاقية النيوترونية الحرارية وبعيد واحد ولشكليين هندسيين هما الرباعي والسداسي , وان البرنامج يقوم بتحويل الشكليين الهندسيين المشار اليهما في الشكل الاسطواني , ويعتمد في حل معادلة الانتقال النيوتروني على فصل التدفق النيوتروني إلى دالتين للطاقة والمكان

$$\phi(r,e)=\phi(R)\phi(e)----- (1)$$

مستخدما طريقة [ABH] والتي وضعت أصلا لغرض حساب عامل الانتفاع الحراري (f) لأن قلم الوقود قد قسم على منطقتين هما الوقود والمهدئ وان النيوترون المتولد في الوقود يعاني من تناقص طاقته في المهدئ, وان النيوترون الموجود في المهدئ يعاني تناقص طاقته في الوقود أي إن منطقة الغلاف ألغيت من الحساب.

في وحدات خلايا الوقود, كطريقة حساب تعتمد في حالة عدم التجانس [10] بشرط أن تكون المقاطع العرضية العيانية لكل من الوقود والغلاف والمهدئ معروفة , حسابات الطيف النيوتروني تجري بالاعتماد على (172) مجموعة طاقية نيوترونية والتي هي دون مستوى (0.625 eV) ويقوم البرنامج بتكثيف هذا العدد الكبير من المجاميع الطاقية النيوترونية إلى مجموعة طاقية حرارية نيوترونية مفردة يتمكن البرنامج بواسطة طريقة [ABH] من مجانسة الخلية , فنحصل على مجموعة من معدلات المقاطع العرضية العيانية كدالة للطاقة عند المجموعة الطاقية الحرارية النيوترونية بالنسبة لمنطقة الوقود والغلاف .

2.1.2 البرنامج Thermos - OTA [5]

برنامج حسابي عالمي يحل معادلة الانتقال النيوتروني التكاملي بطريقة احتمالات التصادم بعيد واحد وبشكليين هندسيين الاسطواني والصفائحي ولا بد من الإشارة إلى أن البرنامج لا يتعامل مع مناطق الفراغ التي توجد عادة بين الوقود والغلاف كما يحتوي البرنامج على مكتبة مقاطع عرضية متجانسة ومكثفة كذلك يقوم بحساب ثوابت الخلية ومعاملاتها [11]

2.2 حساب عامل الانتفاع الحراري (f) [12]

بسبب وجود المبرد والمهدئ وبعض العناصر الداخلة في بنية قلب المفاعل فان احتمالية امتصاص النيوترونات الحرارية من قبل نويات الوقود تمثل بالعامل (f) والذي يدعى بعامل الانتفاع الحراري (Thermal Utilization Factor) ويساوي عدد النيوترونات الممتصة من قبل الوقود

1. المقدمة

إن حسابات ثوابت الخلية ومعاملاتها تجري على مجاميع الوقود في قلب المفاعل النووي وذلك لغرض إجراء حسابات الثوابت النيوترونية للمجموعات الطاقية الحرارية والسريعة خلال فترة اشتغال المفاعل النووي. لإجراء هذه الحسابات فان مجاميع الوقود في مفاعلات الماء المضغوط تتم بأخذ قلم وقود منفرد محاط بمهدئ وهذا ما يسمى بالخلية. ان أقلام الوقود في هذا النوع من المفاعلات تكون متماثلة في التخصيب والأبعاد الهندسية والتراكيب في مجمع الوقود الواحد [1] خلايا مجمع الوقود تكون ذات أشكال منتظمة ومرتبطة على هيئة صفوف مربعة أو سداسية أو على هيئة هندسية منتظمة أخرى وقد جرت العادة على التعامل معها ببعيد واحد وذلك بتحويلها إلى الشكل الاسطواني مع الاحتفاظ بحجم الخلية ثابت [2] . في البحث الحالي تم حساب عامل الانتفاع الحراري (f) والذي يمثل احتمالية امتصاص النيوترونات الحرارية من نويات الوقود النووي عامل التجدد (η) الذي يمثل النسبة بين عدد النيوترونات المنبعثة من الانشطار النووي إلى عدد النيوترونات الحرارية الممتصة في الوقود وعامل التكاثر النيوتروني اللانهائي (k_{∞}) للمجموعة الطاقية الحرارية ولستة أنواع من الخلايا المستخدمة في مفاعلات الماء الخفيف المضغوط ذي المواصفات المختلفة الشكل الهندسي ونوع الوقود ودرجة تخصيبه ونوع المهدئ الخلايا المعتمدة في بحثنا الحالي

تقسم على :

أ- بالنسبة إلى الوقود المستخدم فيها:

- 1- خلايا وقودها اوكسيد اليورانيوم (UO_2)
- 2- خلايا وقودها ($PUO_2 - UO_2$) والتي

تعرف ب Mox Fuel

ب- بالنسبة إلى المهدئ :

- 1- ماء خفيف
 - 2- ماء خفيف حاوي على بورون مذاب .
- ولإجراء حسابات هذا النوع من الخلايا فقد اعتمد برنامجان عالميان يستخدمان في حسابات ثوابت الخلية ومعاملاتها بعيد واحد هو برنامج Leopard والذي يستخدم طريقة (Amonylal, Benoist , and Horwitz) والتي تسمى اختصاراً طريقة (ABH) [4] والبرنامج Thermos-OTA الذي يستخدم طريقة احتمالات التصادم النيوتروني في حل معادلة الانتقال النيوتروني [5].

2. طريقة الحساب

3.2 حساب عامل التكاثر النيوتروني اللانهائي (k_{∞}) [12]

ويمثل حاصل ضرب العوامل الأربعة (p, f, ϵ, η) ما يعرف بعامل التكاثر النيوتروني اللانهائي (k_{∞}) وهو مساو لعامل التكاثر النيوتروني الفعال في حالة كون أبعاد قلب المفاعل كبيرة جداً ويكون مقدار تسرب (Leakage) النيوترونات من المفاعل لديها مساوياً للصفر

$$k_{\infty} = pf\epsilon\eta \quad (2)$$

f : عامل الانعاف الحراري

η : عامل التجدد الحراري

ϵ : عامل الانشطار النيوتروني السريع

p : احتمالية الهروب الرنيني

3. النتائج والمناقشة

3.1 وصف الخلايا المستخدمة: الجدول (1) يوضح الأبعاد الهندسية للخلايا التي وظفت لإجراء المقارنة بين طريقتي الحساب المعتمدة في البرنامجين (Leopard و Thermos-OTA) إذ تم اعتماد هذه الخلايا لإجراء الحسابات وذلك لتوفر المعلومات الهندسية والنووية عنها و بمواصفات تميز أحداها عن الأخرى ولكن بصورة عامة يمكن أن تقسم هذه الخلايا على نوعين:

جدول (1) يبين الأبعاد الهندسية للخلايا

Cell	NB - 1	NB - 2	NB - 3	NB - 4	NB - 5	LOFT
Geom.	Hex.	Sq.	Sq.	Sq.	Hex.	Sq.
Pitch (cm)	1.5578	2.21	1.7526	1.4605	1.166	1.4732
Fuel pin O.R. (cm)	0.4864	0.6414	0.64135	0.508	0.4675	0.45339
Clad O.R. (cm)	0.5753	0.7176	0.71755	0.59474	0.529	0.51689

تمتاز بصغر المسافة البينية ولذلك فإنها لا تعدّ خلية ذات عامل تحويل عالي (High Conversion Factor) وتخصيب وقودها (0.04%) مرتبة بهيئة صفوف سداسية في مجمع الوقود كذلك فقد أجريت الحسابات لخلية مفاعل (LOFT) درجة تخصيب وقودها (2.72%).

2.1.3 خليتان NB-3, NB-2 ($UO_2 - PUO_2$)

خليتان NB-3, NB-2 ($UO_2 - PUO_2$) وقودهما [8] درجة تخصيبها واطنة ومهدنة بالماء الخفيف، تحوي الخلية (NB-2) على البورن المذاب في مهدنها، بنسبة تركيزه (1090ppm)، الجدول

إلى الممتصة من كافة مكونات القلب (بضمنها الوقود).

$$f = \frac{\sum_a^f}{\sum_a^f + \sum_a^c + \sum_a^m} \quad (3)$$

حيث:

$\sum_a^f$: المقطع العرضي العياني الامتصاص للوقود

$\sum_a^c$: المقطع العرضي العياني الامتصاص للغلاف

$\sum_a^m$: المقطع العرضي العياني الامتصاص للمهدئ:

2.2 حساب عامل التجدد [η] [12]

إن أغلب الانشطارات النووية في وقود مفاعلات الماء المضغوط يحصل بواسطة النيوترونات الحرارية، ويسمى عدد النيوترونات السريعة الناتجة عن الانشطار النووي بواسطة النيوترونات الحرارية لكل نيوترون حراري يمتص من قبل الوقود بعامل التجدد (Regeneration Factor) [4].

$$\eta = \frac{\nu \sum_f(fuel)}{\sum_a(fuel)} \quad (4)$$

حيث:

$\sum_f$: المقطع العرضي العياني للانشطار

$\sum_a$: المقطع العرضي للامتصاص

1.1.3 خلايا أوكسيد اليورانيوم (UO_2)

خلايا وقودها أوكسيد اليورانيوم (UO_2) وذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف وهذه الخلايا هي (NB-1 و NB-4 و NB-5) [7,8] خلية المفاعل (LOFT) [4] توصف الخلية (NB-1) على إنها خلية حرجة (Critical unit cell) ولا تحوي على تسرب نيوتروني (Zero-leakage) تخصيب وقودها (1.311%) وتكون مرتبة بهيئة صفوف سداسية في مجمع الوقود الواحد. والخلية (NB-4) تخصب وقودها (2.78%) وتكون مرتبة بهيئة صفوف مربعة الشكل في مجمع الوقود الواحد والخلية (NB-5)

(2) يوضح العناصر الداخلة في تركيب الخلايا المستخدمة وكثافتها الذرية.

جدول (2) يبين الكثافات الذرية لمكونات الخلايا ($\times 10^{24}$ atom/cm³)

Cell	NB - 1	NB - 2	NB - 3	NB - 4	NB - 5	LOFT
Fuel						
O-16	4.6946E -2	4.401E -2	4.2571E -2	4.2581E -2	4.50473E -2	4.6448E -2
U – 235	3.112E -2	1.504E -2	1.4957E -4	6.465E -2	6.94117E -4	5.257E -4
U – 238	2.03127E -2	2.073E -2	2.0688E -2	2.2559E -2	2.18195E -2	2.2697E -2
Pu – 239	-	3.974E -2	3.8028E -4	-	-	-
Pu – 240	-	3.344E -5	3.2341E -2	-	-	-
Pu – 241	-	1.6E -6	2.6872E -6	-	-	-
Clad						
Zr – 40	-	4.226E -2	4.32E -2	4.015E -2	-	4.25E -2
AL – 27	4.8990E -2	-	-	-	4.73054E -2	-
Mod.						
H – 1	6.676E -2	6.671E -2	6.6748E -2	6.676E -2	6.67804E -2	6.674E -2
O – 16	3.338E -2	3.336E -2	3.3374E -2	3.338E -2	3.33902E -2	3.337E -2
B - 10	-	1.2025 -5	-	-	-	-

الحرارية عن (0.7%) ماعدا الخلية (NB-2) وذلك لاحتواء البرنامج (Thermos-OTA) في مكتبته على المقاطع العرضية العيانية لنظير اليورون الطبيعي بينما الخلية (NB-2) فإنها تحتوي على نظير (B-10) مذاب في مهدنها، اما البرنامج (Leopard) فلم تتجاوز النسب المئوية للانحراف المعياري (0.18%) للمقطع العرضي العياني الامتصاصي و(1%) لعامل التكاثر النيوتروني اللانهائي وقيم المقطع العرضي العياني للانشطار، فلم تذكر قيمها البحوث المرجعية المنشورة.

3. 2 نتائج الحسابات (ثوابت الخلية ومعاملاتها) والمناقشة

تتضمن هذه النتائج قيم المقاطع العرضية العيانية للامتصاص ($\sum_a$) والانشطار ($\sum_f$) ومعامل الانتشار (D) ومعامل الانتفاع الحراري (f) ومعامل التجدد (η) وعامل التكاثر النيوتروني اللانهائي (k_{∞}) كما موضح في الجداول رقم (3,4,5,6,7,8) وللخلايا (NB-1) و (NB-2 و NB-3 و NB-4 و NB-5) عن (0.08%) للمقطع العرضي الامتصاصي العياني ولعامل التكاثر النيوتروني اللانهائي للمجموعة الطاقة

جدول (3) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية NB – 1

Coeff.	Leopard /Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
D	0.283869 0.2827	- -	- -	0.41
$\sum_a$	0.07593 0.07174	0.076037 0.071721	0.14 0.02	5.8
$v\sum_f$	0.104915 0.0972337	- -	- -	7.8
f	0.868632 0.865122	0.86827 0.86759	0.04 0.28	0.4
η	1.5848 1.56829	1.5849 1.5753	0.006 0.42	1.03
k_{∞}	1.3766 1.357055	1.376 1.3667	0.04 0.7	1.44

جدول (4) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية NB – 2

Coeff.	Leopard/ Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
--------	------------------------	------	----------	----------

D	0.2189552	-	-	8.05
	0.23813	-	-	
Σa	0.1415747	0.141834	0.18	8.15
	0.1309	0.138324	5.3	
$v\Sigma_f$	0.1905485	-	-	14.96
	0.16574	-	-	
f	0.73639	0.73441	0.26	2.43
	0.71895	0.74384	3.3	
η	1.81448	1.8012	1.5	3.03
	1.76115	1.7887	1.0	
k_∞	1.33616	1.3229	1.0	5.53
	1.266178	1.3305	4.83	

جدول (5) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية 3 – NB

Coeff.	Leopard /Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
D	0.2758669	-	-	3.9
	0.28712	-	-	
Σa	0.1903861	0.189059	0.7	0.01
	0.18028	0.181777	0.82	
$v\Sigma_f$	0.330138	-	-	8.61
	0.30395	-	-	
f	0.95599	0.95486	0.11	0.51
	0.951137	0.95573	0.48	
η	1.80063	1.7856	0.84	1.57
	1.7727	1.7727	0.0	
k_∞	1.72138	1.705	0.96	2.09
	1.68608	1.6939	0.46	

جدول (6) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية 4 – NB

Coeff.	Leopard /Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
D	0.29417	-	-	2.11
	0.30052	-	-	
Σa	0.1191207	0.119319	0.16	7.5
	0.11076	0.110843	0.07	
$v\Sigma_f$	0.20067	-	-	9.33
	0.18353	-	-	
f	0.928548	0.92743	0.12	0.34
	0.92534	0.92687	0.16	
η	1.807732	1.8047	0.16	0.98
	1.790042	1.7943	0.23	
k_∞	1.67856	1.6737	0.29	1.33
	1.656412	1.6631	0.4	

جدول (7) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية 5 – NB

Coeff.	Leopard/ Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
D	0.45514	-	-	10.16
	0.50662	-	-	

Σa	0.1490505 0.13675	0.149091 0.136685	0.02 0.04	9.03
$v\Sigma_f$	0.264528 0.23832	- -	- -	11.0
f	0.972305 0.971188	0.97223 0.97153	0.007 0.03	0.11
η	1.8187 1.794594	1.8132 1.8013	0.3 0.37	1.34
k_∞	1.76836 1.742889	1.7629 1.75	0.31 0.41	1.46

جدول (8) يبين قيم المعاملات والمقاطع العرضية للخلية LOFT

Coeff.	Leopard /Thermos - OAT	Ref.	Dev. (1)	Dev. (2)
D	0.244235 0.2386	0.2354 0.2354	3.7 1.35	2.36
Σa	0.091366 0.094449	0.09429 0.09429	3.1 0.16	3.26
$v\Sigma_f$	0.141737 0.14453	0.14674 0.14674	3.4 1.5	1.93
f	0.878346 0.875073	- -	- -	0.37
η	1.8104911 1.748868	- -	- -	3.5
k_∞	1.590238 1.530387	- -	- -	3.91

من ملاحظة النتائج يتضح أن البرنامج (Thermos-OTA) أدق في نتائجه من برنامج (leopard) والسبب في ذلك يعود إلى اختلاف طريقتي الحساب لأن (leopard) يعتمد التقريب الحسابي وذلك بتعامله مع منطقتي الوقود والمهدئ أما البرنامج (Thermos-OTA) فإنه لا يتعامل مع مناطق الفراغ بين الغلاف والوقود لكنه يقوم بتصحيح المقاطع العرضية العيانية الانتقالية مما يعطيه دقة أعلى.

نتائج البحوث المرجعية المنشورة للخلايا المرجعية استحصلت من خلال البرنامجين (Thermos و Leopard) [10] , ولذلك فإن القيم المحسوبة تكون ذات دقة عالية إلا في حالة الخلية (NB-2) والتي تحوي على البورون المذاب في مهدئها , إن اختلاف مكتبي المقاطع العرضية العيانية للبرنامجين (Thermos و Thermos) (Thermos-OTA) بطريقة معالجة البرنامج (Thermos-OTA) لفجوات الفراغ بين الوقود والغلاف وعدم معالجتها في البرنامج (Thermos) هذان الاختلافان أدبا اختلاف النتائج المستحصلة من البرنامجين كبينة على الاختلاف بين البرنامجين اعتمدت خلية المفاعل (LOFT) وأدرجت النتائج في الجدول (8) و قورنت النتائج بين البرنامجين المعتمدين في الحساب مع البرنامج (Thermos), وأظهرت النتائج أن (Thermos-OTA) هو الأقرب إلى النتائج المنشورة عن خلية المفاعل (LOFT).

4.الاستنتاجات

Reference

- [1] Levine ,S.H “ Workshop on application in nuclear data and reactor physics, International Center for Theoretical physics, Trieste ,1990
- [2] Ronon ,Yigal ,”Handbook of nuclear reactors Calculation “ Volume 1,CRC Press,1986 .

- [3] Barry ,R.F, “Leopard , A spectrum dependent non-spatial depletion code for the IBM-7094”,WCAP-3269-26 ,Westinghouse Electric Corporation 1963 .
- [4] Duderstadt , J.J., Hamilton ,L.J. , “Nuclear reactor analysis ” , By John Wiley & Sons ,Inc,1976.
- [5] Eeropatranka “ Thermos-OTA, A revised Version of the Thermos Program for thermal lattice calculation ,1974 .
- [6] Williams ; M.L., “Analysis of Thermal reactor benchmarks with design code based on ENDF/B –V data” ,Nuclear Technology Vol. 91,p386 -401, 2000.
- [7] Miller, C.S., “AEC research &developments report”, Reactor Technology ,LOFT core design report, TID-4500 ,1976.
- [8] Rothstien , W., “ Comparison of thermal neutron parameters calculation for LWR unit cells by two different methods ” , INIS-8903,June1990 . MF_2
- [9] Honeck,H.C. , “Thermos ,A thermalization transport theory code for reactor lattice calculation ”,BNL.,5826,1963
- [10] Elmer E. Lewis , “Fundamental Nuclear reactor physics ”, Elsevier ,Inc ,2008 .
- [11] Saastamoinen .J , Wasatjerna .F“ Nuclear Engineering Laboratory ” ,Technical Research ,Center of Finland ,Otaniemi ,Finland ,NEA -0628\03 ,12-APR -2001.
- [12] Kulikowska,T “Reactor Lattice Transport Calculation, Workshop on nuclear data and Nuclear Reactors ,Physics ,Design and Safety ” , International Center for Theoretical Physics , Trieste,13March-14April,2000

ملحق 1

رمز الخلية	المواصفات
NB-1	خلية ذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف ولا تحوي على تسرب نيوتروني ومرتبنة بهيئة صفوف سداسية في مجمع الوقود .
NB-2	خلية ذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف و تحوي على البورون المذاب في مهدنها وتكون بهيئة صفوف مربعة في مجمع الوقود .
NB-3	خلية ذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف ولا تحوي على البورون المذاب في مهدنها وتكون بهيئة صفوف مربعة في مجمع الوقود .
NB-4	خلية ذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف وتكون مرتبنة بهيئة صفوف مربعة داخل مجمع الوقود .
NB-5	خلية ذات تخصيب واطئ ومهدنة بالماء الخفيف وتمتاز بصغر المسافة البينية وتكون مرتبنة بهيئة صفوف سداسية .
خلية LOFT	خلية مفاعل الماء المضغوط (LOSS OF COOLANT)