حساب احتراق نظير السيزيوم Cs – 137 للوقود النووي ثاني اوكسيد اليورانيوم باستخدام برنامج ORIGEN

عباس فاضل عيسى المعموري - قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة واسط

The calculation of burn up for Cs-137 to study fuel UO_2 by universal code ORIGEN

Abbas F. Essa - Dep. of Physics / College of Science / University of Wassit

Abstract

The study of nuclear fuel is considered very important. This is because those chemical reactions are normally occurring due to the continuous, instance irradiation to the fuel material during the operation of reactor. In order to improve the fuel fabrication process and develop them further, the determination of fission product as well as their distribution over the entire length of the fuel pin swelling. The Cs – 137 was chosen as a precursor for the burn up level of the irradiated fuel and the universal code ORIGENwas used to study the irradiated fuel pin UO_2 and to calculate the level of its burn up for some irradiation condition.

الخلاصة

إن دراسة احتراق الوقود النووي من الدراسات المهمة لمعرفة ما تعانيه مادة الوقود من تفاعلات كيميائية نتيجة للتشعيع الكثيف والحرارة العالية التي تتعرض لها مادة ثاني اوكسيد اليورانيوم اثناء التشغيل في المفاعل . ولغرض تحسين صناعة الوقود النووي وتطويرها من خلال توزيع نواتج الانشطار وانتقالها الى مناطق محددة من عمود الوقود بسبب التأثيرات الحرارية التي تؤدي الى انتفاخ عمود الوقود ، فأن هذه الدراسة نظرية لحساب احتراق نظير السيزيوم Cs – 137 الناتج عن الانشطار كدالة مؤشرة الى الاحتراق، وتم استخدام برنامج حاسبي OREGIN لحساب الاحتراق خلال ايجاد النشاط الاشعاعي للنظير Cs – 137 المتولد عن تشعيع عمود الوقود النووي ثاني اوكسيد اليورانيوم.

المقدمة

يعد موضوع حسابات احتراق الوقود النووي من المواضيع المهمة جدا ، لان الوقود النووي هو المادة الاساسية لانتاج الطاقة الكهربائية، وتعتمد حسابات الاحتراق على قياس النشاط الاشعاعي لاحدى او مجموعة من الشظايا الانشطارية مثل Cs – 137 , Ce – 144 , Ru – 106 , Nb – 95 وقد اجريت الحسابات النظرية للنشاط الاشعاعي لشظية السيزيوم بحل مجموعة المعادلات التفاضلية الخطية التي تصف تكوينها وانحلالها كدالة للزمن واحتراق الوقود. وتم تهيئة معلومات على الحاسبة الالكترونية للقيام بتقدير قيمة الاحتراق من القيم المقاسة للنشاط الاشعاعي للنظير137 – Cs في الوقود المحترق.وقدم ملخص نظري لبرنامج ORIGEN لحساب الاحتراق في عمود الوقود والتعبير الرياضي العام لتكوين واختفاء النويدات بواسطة التحويل النووي واستعراض النتائج النظرية من معلومات الاخراج لهذا البرنامج.

الحسابات النظرية لبرنامج ORIGEN

تم اعداد برنامج يعمل بلغة فورتران على الحاسبة الالكترونية لحل معادلات التحولات النووية للوقود النووي ويتألف البرنامج من :-

١ – مكتبة تحتوي على المقاطع العرضية لجميع النظائر الموجودة في الطبيعة وثوابت تحللها،وفيها عمليات تبين الخواص النووية من خلال المعادلات التفاضلية التي تصف انحلال النويدات.

٢ – حلول النتائج من المعادلات وتوافر شروط ابتدائية مثل فترة التشعيع ، ومكونات النظائر المتبقية من مكونات الوقود كدالة لفترة الانحلال.

٣ – استخدام بعض مكونات النظائر والخواص النووية للنويدات الخاصة وجداول متباينة من النشاط الاشعاعي ، والقدرة الحرارية وانتاج النيترون وطاقات الفوتون الناتجة عن الانشطار الى مواد اخرى .

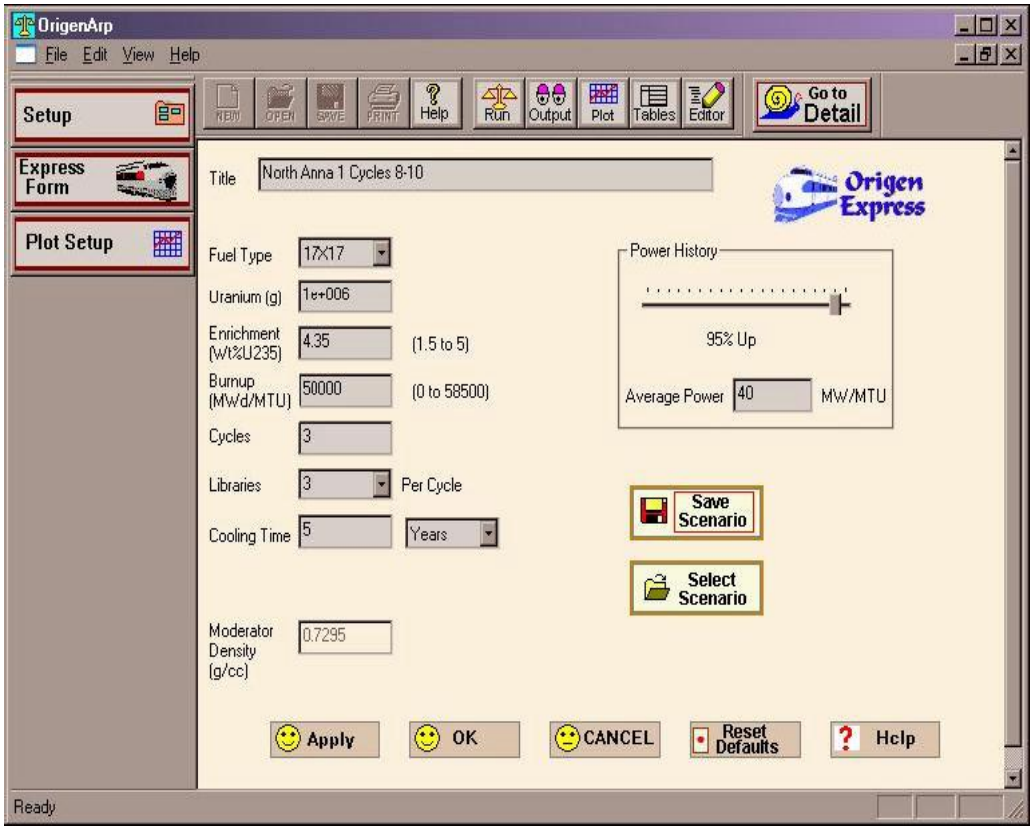
لذا فان البرنامج يعمل على حساب نواتج الانشطار خلال فترات التبريد وهو يعطي وزنها (gm atom.) وكتل نواتج الانشطار (gm) وفعاليتها الاشعاعية (curies) والقدرة الناتجة عن الانشطار(watts) و الحرارة الناتجة عن الانشطار(Thermal power)إضافة الى الطاقة الحرارية الناتجة عن اشعة كاما (Gamma power) ،وتحسب جميع هذه القيم عند تحول الانشطار وتحللها الى نظائر اخرى خلال تشغيل المفاعل وبعد اطفائه مباشرة وبعد فترات زمنية مختلفة بعد الاطفاء بحسب معلومات الادخال في البرنامج [1] .

تاريخ واصدرات البرنامج

في عام ١٩٦٠ كان يكتب البرنامج ORIGEN بالبرنامج ORNL وبعدها في عام ١٩٧٠ فسر كل منBell و Nichols كيفية انشاء انحلال نويدات المواد النووية التي من الضروري اعطاء معلومات عنها مثل (الانحلال و مساحة المقطعو نواتج الانشطار والفوتون)

توجد اصدارات كثيرة من البرنامج منها ORIGEN – 2 وهو يستخدم لحساب الاحتراق ونواتج الانشطار في قلب المفاعل لمادة اليورانيوم U-238 وU-235 ويعطي معلومات اخراج مختلفة منها وزن نواتج الانشطاروالنشاط الاشعاعي [٢] . اما البرنامج ORIGEN – 2.1 فيعطي حسابات كثيرة من خصائص المواد النووية مثل اليورانيوم والبلوتونيوم فهو يحسب تركيز النويدات المشعة والقدرة الحرارية وانبعاث النيترون والفوتون[٣]. وبعدها تطور البرنامج الى اصدار ORIGEN – S ليبسط معلومات الادخال ويعطي نتائج احتراق الوقود الذي يعتمد على مساحة مقطع تصميم الوقود [٤] . وبتطور الحاسبات تطور البرنامج الى اصدار حديث هو برنامج ORIGEN – ARP الذي يعمل على نظام التشغيل Windows الذي يتطلب بعض معلومات الادخال مثل نوع الوقود والتخصيب

والاحتراق و معدل القدرة الذي من خلاله يستطيع المستخدم الحصول على تشغيلة (run) خلال دقيقة واحدة [٥] كما هو موضح في الشكل (١):



الشكل رقم (١) يوضح صورة من معلومات الادخال في برنامج ORIGEN – ARP

معلومات الادخال للبرنامج

لغرض حساب نسبة الاحتراق(%) وفعالية نواتج الانشطار للاصناف الذرية الثقيلة ($\sum \alpha$) ونواتج الانشطار ($\sum \beta.\gamma$) تم استخدام برنامج ORIGEN للوقود النووي ثاني اوكسيد اليورانيوم ذي التخصيب 0.7% وذلك بعد تشعيعه بفيض نيوتروني $2.6\times10^{13} n.cm^{-2}sec^{-1}$ ولفترة تشعيع ٣٠ يوماً وفترة تبريد قدرها ٦٠ يوماً ، لذا فأن معلومات الادخال تتضمن ١٦ كارت وفيما يأتي ملخص للكارتات [1] .

الكارت A (Card A)
يكتب فيه عنوان العمل المقترح ويشغل ٧٢ فراغا يليه بعد ذلك نوع المفاعل الذي تم تشعيع الوقود فيه وهو مفاعل الماء الخفيف (LWR) ويعطى الرقم ٢ لهذا النوع من المفاعل.

الكارت B (Card B)
يتضمن هذا الكارت الثوابت الاتية :-
١- معدل تفاعل النيوترونات التي تتبع توزيع ماكسويل الى معدل تفاعل النيوترونات الحرارية (Therm = 0.886) .
٢- النسبة بين معدل الفيض الرنيني الى معدل الفيض الحراري يدعى بالثابت الرنيني (Resonance constant).
٣- معدل الفيض السريع فوقMeV ١ الى معدل الفيض الحراري يدعى بالثابت السريع (Fast constant).
٤ – نسبة الخطأ التي يطلبها المستخدم وهي 0.1×10^{-24} .

الكارت C (Card C)
يعمل هذا الكارت على استخراج النتائج قبل الاطفاءوعدد الفترات الزمنية للتشغيل ستة ،وكل فترة تستغرق خمسة ايام مع العلم ان فترة التشعيع ٣٠ يوماً.

الكارت D (Card D)
يوضع في هذا الكارت عنوان يشغل ٨٠ فراغاً.

الكارت E (Card E)
يكتب في الكارت مقدار الفيض النيوتروني طوال فترات التشغيل التي عددها ستة.

الكارت G (Card G)
يتضمن فترة التشعيع وقدرها ٣٠ يوماً التي تزيد كل فترة خمسة ايام وبالتالي يكون مجموع الفترات ستة.

الكارت H (Card H)
يتضمن عنواناً يشغل ٤٠ فراغاً ووحدة الفترة الزمنية بالثواني فاذا كانت بالايام تكتب sec ٨٦٤٠٠ .

الكارت I (Card I)
يعطي سبع حسابات لمعلومات الاخراج مثل (الكتل gm ، gm . atom ، .... الخ).

الكارت K (Card K)
يتضمن هذا الكارت تطبيق علاقة رياضية للمواد الداخلة الخفيفة والثقيلة لايجاد عدد المولات.

الكارت L (Card L)
يبقى فارغاً لكي يربط الكارتات السابقة بالكارتات اللاحقة حيث تمثل الاخيرة استخلاص النتائج خلال فترات زمنية بعد اطفاء المفاعل.

الكارت M (Card M)
يتضمن ايجاد الحسابات بعد فترة زمنية من الاطفاء.

الكارت N (Card N)
عنوان اخر يشغل ٨٠ فراغاً.

الكارت O (Card O)
بعد اجراء الحسابات في الكارتM بعد ٦ فترات زمنية كل فترة زمنية قدرها ١٠ ايام يعني ان فترة التبريد ٦٠ يوماً.

الكارت P (Card P)
يتضمن هذا الكارت (عنوان و رقم الايام بالثواني و رمز الساعة واليوم).

الكارت R (Card R)
كارت فارغ (Blank card) .

الكارت S (Card S)
نهاية معلومات الادخال لليرنامج .

معلومات الاخراج (Output data) والنتائج

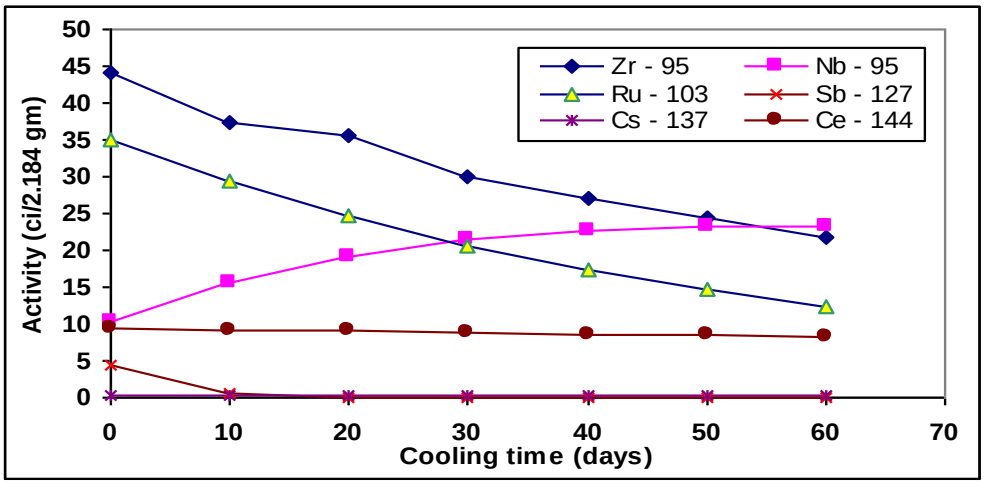
ان صفحات معلومات الاخراج كثيرة ففي البداية تكون الصفحات خاصة بمكتبة البرنامج تكتب فيها المقاطع العرضية لجميع النظائر في الطبيعة وثوابت تحللها والمعادلات الخاصة بالمكتبة ، يلي ذلك صفحة تترتب فيها معلومات نواتج الانشطار موضحة لتشغيلة واحدة للبرنامج لحساب الفعالية الاشعاعية وحساب عدد المولات (gm.atom) قبل تشغيل المفاعل للمواد الداخلة وفي لحظة اطفاء المفاعل بعد الفترات الزمنية للتشغيل . ثم يعطي البرنامج حسابات كتل العناصر بالغرام و حساب القدرة الناتجة من الانشطار واشعة كاما للعناصر الخفيفة والثقيلة حيث تبدأ الحسابات من نظير H-3 وتنتهي الى Er-167 ويمكن ملاحظة الجدول رقم (١) الذي يبين فعالية نواتج الانشطار للوقود النووي المستخدم في البحث خلال فترات التبريد .

الجدول (١)

فعالية نواتج الانشطار من برنامج ORIGEN لعمود الوقود النووي

Radion uclide	Cooling time (days)						
	0	10	20	30	40	50	60
Zr - 95	4.4×10^{1}	3.73×10^{1}	3.55×10^{1}	3.01×10^{1}	2.71×10^{1}	2.43×10^{1}	2.19×10^{1}
Nb - 95	1.04×10^{1}	1.56×10^{1}	1.91×10^{1}	2.14×10^{1}	2.27×10^{1}	2.32×10^{1}	2.32×10^{1}
Ru - 103	3.51×10^{1}	2.94×10^{1}	2.47×10^{1}	2.07×10^{1}	1.74×10^{1}	1.46×10^{1}	1.23×10^{1}
Sb - 127	4.27	7.31×10^{-1}	1.22×10^{-1}	2.04×10^{-2}	3.41×10^{-3}	5.71×10^{-4}	9.54×10^{-5}
Cs -137	2.92×10^{-1}	2.92×10^{-1}	2.92×10^{-1}	2.92×10^{-1}	2.92×10^{-1}	2.91×10^{-1}	2.91×10^{-1}
Ce - 144	9.47	9.24	9.02	8.80	8.59	8.59	8.17

يمكن ملاحظة الجدول (١) الذي يبين نواتج الانشطار في عمود الوقود النووي ثاني اوكسيد اليورانيوم خلال فترات التبريد وموضح كدالة لانحلال فعاليات الغازات المشعة في الشكل (2).



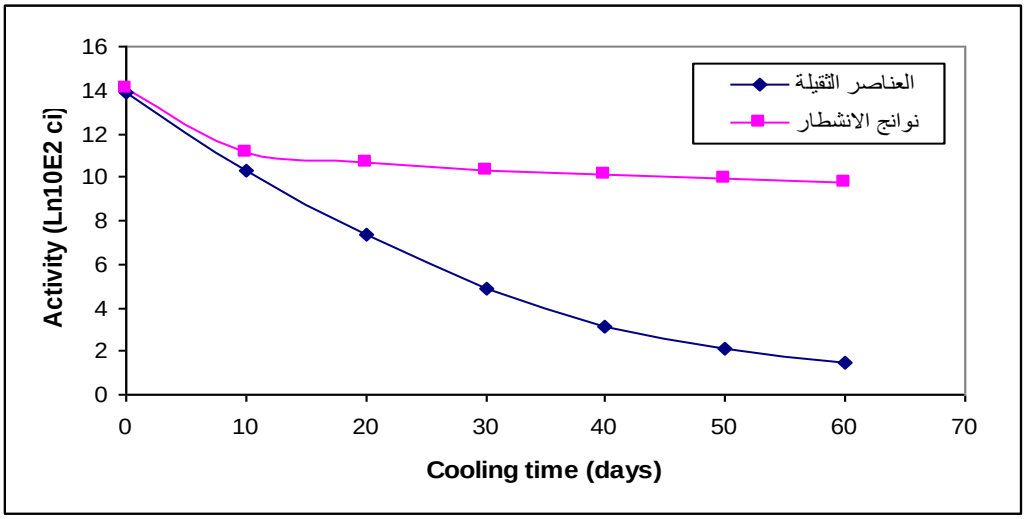
الشكل (2) انحلالية فعالية نواتج الانشطار ($\sum\beta.\gamma$) دالة لفترة التبريد

اما في الجدول (٢) الذي يعطي نتائج حسابات البرنامج لنواتج الانشطار ($\sum\beta.\gamma$) والعناصر الثقيلة ($\sum\alpha$) بوحدات الكيوري كفعالية اشعاعية لمجموعة العناصر الموجودة في الطبيعة ويمكن ملاحظة الاختلاف بينهما كما هو موضح في الشكل (3).

الجدول (٢)

الاختلاف بين حسابات نواتج الانشطاروالعناصر الثقيلة من برنامج ORIGEN للوقود النووي ثاني اوكسيد اليورانيوم

Cooling time (days)	Ln ($10^2 \sum \alpha$) (curies)	Ln ($10^2 \sum \beta.\gamma$) (curies)
0	13.89	14.11
10	10.26	11.11
20	7.38	10.65
30	4.83	10.33
40	3.12	10.09
50	2.10	9.89
60	1.43	9.72



الشكل (3) يبين نواتج الانشطار($\sum \beta.\gamma$) والعناصر الثقيلة ($\sum \alpha$)

نستنتج من ذلك ان طريقة الحسابات النظرية من البرنامج ORIGEN واضحة لحساب كمية الاحتراق كما هو موضح في الشكل (2) حيث ان بعض النظائر المشعة تنحل لان النظير Zr – 95 ينحل الى Nb – 95 ، وذلك لأختلاف العمر النصفي بينهما إذ ان عمر النصف للنظير Zr – 95 اكبر من عمر النصف للنظير Nb – 95 [6].

كما يبدو من الشكل (3) ان النشاط الاشعاعي المسيطر الناتج من شظايا الانشطارواليس من العناصر الثقيلة المتولدة وهو امر طبيعي بالنسبة للوقود المحترق ،إذ ان الوقود النووي قبل التشعيع يكون باعثاً لجسيمات الفا بشكل رئيسي ونسبة ضئيلة لجسيمات بيتا وفوتونات اشعة كاما الواطئة الطاقة وفوتونات الاشعة السينية.ويمكن تطوير البحث وتحليل النتائج مستقبلا باستخدام طريقة قياس عملية للاحتراق

ومقارنتها مع البرنامج ORIGEN وذلك باستخدام مصادر مشعة قياسية للنظائر المشعة المدروسة كتصنيع مصدر مشع قياسي من Cs – 137 اسطواني الشكل بقطر مساو لقرص الوقود ثاني اوكسيد اليورانيوم. وادناه صفحة واحدة من تشغيلة البرنامج التي تمثل احتراق الوقود خلال فترات التشعيع كما هي موضحة في الجدول (٣).

الجدول (٣) يبين صورة صفحة من تشغيلة البرنامج ORIGEN تمثل احتراق الوقود النووي

	CHARGE	DISCHARGE	10. D	20. D	30. D	40. D	50. D	60.
XE132	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
SB133	0.00E+00	1.05E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
TE133M	0.00E+00	1.32E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
TE133	0.00E+00	4.84E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I133	0.00E+00	1.72E+02	6.48E-02	2.35E-05	8.53E-09	3.09E-12	1.12E-15	4.07E-
XE133M	0.00E+00	4.09E+00	3.15E-01	1.47E-02	6.86E-04	3.19E-05	1.49E-06	6.92E-
XE133	0.00E+00	1.63E+02	5.42E+01	1.46E+01	3.92E+00	1.05E+00	2.83E-01	7.59E-
CS133	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
SB134	0.00E+00	1.77E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
TE134	0.00E+00	1.81E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I134	0.00E+00	2.04E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE134	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS134M	0.00E+00	1.27E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS134	0.00E+00	1.59E-02	1.58E-02	1.56E-02	1.55E-02	1.53E-02	1.52E-02	1.51E-
BA134	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
TE135	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I135	0.00E+00	1.59E+02	2.61E-09	4.31E-20	7.10E-31	1.17E-41	1.93E-52	3.18E-
XE135M	0.00E+00	4.76E+01	8.16E-10	1.34E-20	2.22E-31	3.65E-42	6.02E-53	9.91E-
XE135	0.00E+00	3.46E+01	6.52E-06	9.15E-14	1.28E-21	1.80E-29	2.53E-37	3.55E-
CS135M	0.00E+00	2.76E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS135	0.00E+00	5.93E-07	6.46E-07	6.46E-07	6.46E-07	6.46E-07	6.46E-07	6.46E-
BA135M	0.00E+00	3.77E-08	1.15E-10	3.54E-13	1.08E-15	-3.74E-18	-3.53E-18	7.26E-
BA135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I136	0.00E+00	7.33E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE136	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS136	0.00E+00	4.29E-01	2.52E-01	1.48E-01	8.66E-02	5.08E-02	2.98E-02	1.75E-
BA136	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I137	0.00E+00	1.52E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE137	0.00E+00	1.63E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS137	0.00E+00	2.92E-01	2.92E-01	2.92E-01	2.92E-01	2.92E-01	2.91E-01	2.91E-
BA137M	0.00E+00	2.73E-01	2.73E-01	2.73E-01	2.73E-01	2.73E-01	2.72E-01	2.72E-
BA137	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I138	0.00E+00	1.46E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE138	0.00E+00	1.56E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS138	0.00E+00	1.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
BA138	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
I139	0.00E+00	1.33E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE139	0.00E+00	1.41E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS139	0.00E+00	1.69E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
BA139	0.00E+00	1.71E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
LA139	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE140	0.00E+00	9.98E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS140	0.00E+00	1.57E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
BA140	0.00E+00	1.27E+02	7.39E+01	4.30E+01	2.50E+01	1.46E+01	8.48E+00	4.93E+
LA140	0.00E+00	1.22E+02	8.47E+01	4.95E+01	2.88E+01	1.68E+01	9.75E+00	5.67E+
CE140	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
XE141	0.00E+00	3.67E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CS141	0.00E+00	1.18E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
BA141	0.00E+00	1.62E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
LA141	0.00E+00	1.64E+02	5.31E-17	1.59E-35	4.73E-54	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+
CE141	0.00E+00	7.32E+01	5.98E+01	4.83E+01	3.90E+01	3.15E+01	2.54E+01	2.05E+
PR141	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+

المصادر

1- M.J.Bell (1973). " Origen - The Ornl Isotope Generation and Depletion code" by Ornl . 4629.

2- Ornl (1980) . " Origen – 2 , Isotope Generation and Depletion Code" .

3- Origen 2.1 (1991). On website at :
http://www-rsicc.ornl.gov/codes/ccc/ccc3/ccc-371.html.

4- O.W.Hermann and C.V. Parks (2000). " SAS2H : A Coupled One – Dimensional Depletion and Shielding Analysis Module,"

5- S. M. Bowman, J.E. Horwedel (2002). " Origen – ARP: A new windows PC Pakage for Origen Users" .

6- J. W. Sterbentz, B. Phillips, R. L. Sant,(2004). "Reactor Physics Parametric andDepletion Studies in Support ofTRISO Particle Fuel Specificationfor the Next Generation NuclearPlant".

(تاريخ استلام البحث).....(٢٠٠٨/٩/١٧)
(تاريخ قبول نشر البحث).....(٢٠٠٩/٣/٢٢)