

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب:
رقم التسلسل:



جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي -

كلية العلوم الدقيقة

قسم الفيزياء



مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة

من إعداد: خليل عازب عثمان – شعيب شويرف

الموضوع

دراسة نواتج الانشطار النووي داخل مفاعل البحث NUR بواسطة برنامج الماتلاب MATLAB

نوقشت يوم: 07 / 06 / 2017

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي -	استاذ محاضر قسم - أ -	بوراس فتحي
مناقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي -	استاذ محاضر قسم - ب -	دلمي سامية
مناقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي -	استاذ مساعد قسم - ب -	جار الله رشيدة
مؤطر	جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي -	استاذ مساعد قسم - أ -	ليتيم فتحي

الموسم الجامعي 2016/2017

الإهداء

نهدي هذا العمل المتواضع....

إلى الوالدين الكريمين

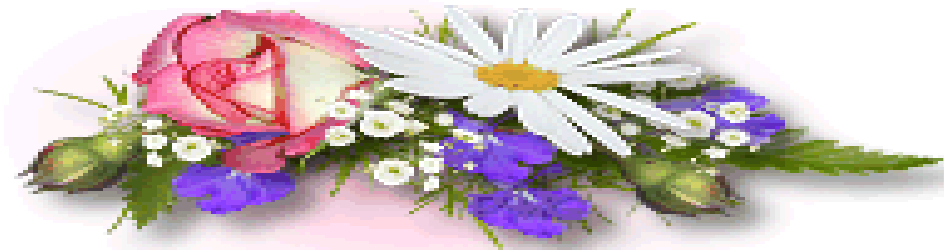
إلى أقاربنا وأصدقائنا....

.... خليل وشعيب....

شكرات

نحمد الله ونشكره الذي بفضله وعونه تم إنجاز هذا العمل
الحمد لله عز وجل حمدا طيبا مباركا ملاً السماوات والأرض وما بينهما على نعمه العظيمة وعلى توفيقه لنا في
إنجاز هذا العمل المتواضع الذي يعد من الفيض ذرة راجين من المولى عز وجل التوفيق والسداد والنجاح لمن طرق
يوما بابا يطلب فيه علما لينير به أمته.
كل الشكر والتقدير إلى الأستاذ **ليثيم فتحي** الذي تشرف بقبول تأطيرنا والذي أمدنا بالنصح والتوجيه بكل أمانة
وإخلاص.
ونتوجه بخالص شكرنا وامتناننا إلى الأستاذ **اللي ياسين** الذي عمل على تحفيزنا ونصحنا كما منحنا الكثير من
الوقت والجهد لإتمام وإخراج هذا العمل.
كما نشكر أعضاء اللجنة والمتمثلة في الأستاذ **بوراس فتحي** كرئيس والأستاذة **دلي سامية** والأستاذة **جارالله**
رشيدة كمناقشين وذلك لقبولهم مناقشة مذكرتنا.
نتوجه بالشكر الخالص لكل من بذل مجهوده الغزير بإسداء النصح والتوجيه أثناء إجراء هذا البحث.
وخالص الشكر الجزيل ومن النوع الخاص جدا جدا جدا إلى **دفعة التخرج 2017 لتخصص فيزياء**، كما نقدم
شكرنا الخالص إلى جميع الأصدقاء من قريب أو بعيد، أنار الله طريقكم وجزاكم عنا خير الجزاء.

.... خليل شعيب



فهرس المحتويات

VI	فهرس الأشكال
VIII	فهرس الجداول
IX	فهرس الرموز والمصطلحات
1	مقدمة عامة
	الفصل الأول I: مفاهيم أساسية حول الانشطارات النووية ومعادلة التطور.
4	I-1 المقدمة
4	I-2 الانشطار النووي
5	I-3 التفاعل النووي المتسلسل
6	I-4 المواد الانشطارية
6	I-5 المقطع المجهرى للانشطار (σ_f)
6	I-5-1 المقطع المجهرى للمواد الانشطارية
8	I-5-2 المقطع المجهرى للمواد قابلة للانشطار
9	I-6 نواتج الانشطار
11	I-6-1 النيوترونات الانشطارية الفورية
12	I-6-2 النيوترونات الانشطارية المتأخرة
13	I-6-3 اشعة غاما
13	I-7 طاقة الانشطار
14	I-8 معادلة التطور
16	I-9 معدل الاحتراق النووي BURN-UP
16	I-9-1 تعريف وحدات معدل الاحتراق النووي
	الفصل الثاني II: دورة النيوترونات في المفاعلات النووية
18	II-1 المقدمة
18	II-2 النيوترون
18	II-3 خصائص النيوترون
19	II-4 تصنيف النيوترونات
19	II-4-1 النيوترونات الحرارية
20	II-4-2 النيوترونات البطيئة والمتوسطة
21	II-4-3 النيوترونات السريعة
21	II-5 انتاج النيوترونات
21	II-5-1 المواد المشعة
22	II-5-2 المعجلات
23	II-5-3 انتاج النيوترونات الانشطارية
23	II-6 دورة حياة النيوترونات
25	II-6-1 التعريف بمعاملات دورة حياة النوترونات
25	II-7 معامل التضاعف K
26	II-7-1 عامل التضاعف الفعال k_{eff}
27	II-7-2 عامل التضاعف اللانهائي

27	8-II معادلة النقل النتروني
28	1-8-II الشكل التكاملي
29	2-8-II الشكل التفاضلي
29	9-II طريقة النشر
30	1-9-II تشكيل معادلة الانشطار متعددة المجموعات
31	2-9-II الحلول العددية لمعادلة الانشطار متعددة المجموعات
	الفصل III: حساب الخلية وحساب القلب
35	1-III مقدمة
35	2-III شبكة المفاعل
35	1-2-III مفهوم وحدة الخلية
36	2-2-III تعريف خلية الماكرو
37	3-2-III طرق حساب المفاعل
37	3-III برامج الحساب
38	1-3-III البرنامج WIMSD4
39	1-1-3-III الخصائص العامة لمكتبة ال WIMSD/4
40	2-1-3-III الحساب الابتدائي للنقل في WIMSD/4
40	3-1-3-III النماذج الهندسية
41	4-1-3-III الطرق العددية
41	2-3-III برنامج حساب القلب CITVAP
41	1-2-3-III النموذج النيوتروني
41	2-2-3-III هيكل مدخل برنامج CITVAP (INPUT)
42	3-2-3-III برنامج الاخراج CITVAP
43	4-III الحساب النيوتروني في مفاعل NUR
43	1-4-III حسابات الخلايا
45	2-4-III الحساب العام للقلب
	الفصل الرابع IV: دراسة النتائج بواسطة برنامج الماتلاب
47	1-IV مقدمة
47	2-IV التعريف ببرنامج الماتلاب MATLAB
48	1-2-IV مؤسسو برنامج الماتلاب
48	2-2-IV تاريخ الماتلاب
49	3-2-IV تطبيقات الماتلاب
49	3-IV توفيق المنحنيات
50	1-3-IV معادلات التوفيق الخطية
50	2-3-IV معادلات التوفيق الغير خطية
51	4-IV الدراسة التجريبية
51	1-4-IV توفيق المنحنيات بواسطة الماتلاب
52	1-1-4-IV تصحيح الخطأ
53	2-4-IV انشاء الواجهات الرسومية (GUI)
56	5-IV دراسة تطور أهم النظائر داخل قلب المفاعل النووي
56	1-5-IV دراسة تطور U^{235} و U^{236} داخل قلب المفاعل النووي
57	2-5-IV دراسة تطور U^{238} و Pu^{239} داخل قلب المفاعل النووي

58	3-5-IV دراسة تطور تراكيز السموم داخل المفاعل النووي
59	4-5-IV نسبة تخصيب اليورانيوم
59	6-IV نواتج الانشطار
60	1-6-IV مواد مستقرة
60	2-6-IV مواد ذات نصف عمر قصير
61	3-6-IV مواد ذات نصف عمر متوسط
61	4-6-IV مواد ذات نصف عمر طويل
62	7-IV معالجة بقية نواتج الانشطار
65	خاتمة
	الملحق الاول: وصف المفاعل النووي NUR
67	1- مفاعل نور النووي
68	2- المكونات الأساسية لمفاعل النور
69	1-2 القلب
69	2-2 الوقود
70	1-2-2 عنصر الوقود القياسي (العادي)
71	2-2-2 عنصر الوقود الخاص بالمراقبة
71	3-2 السائل المبرد
71	4-2 العاكس
72	5-2 مهدا النيوترونات
72	6-2 نظام التبريد
73	3- ابعاد ومواصفات المفاعل النووي NUR
75	المراجع

فهرس الأشكال

الفصل الأول I

4	تفاعلات انشطارية النووية لنواة U^{235} .	الشكل (1-I):
5	شكل يوضح التفاعل النووي المتسلسل.	الشكل (2-I):
7	المقطع المجهرى (σ_f) لليورانيوم ^{233}U .	الشكل (3-I):
7	المقطع المجهرى (σ_f) لليورانيوم ^{235}U .	الشكل (4-I):
7	المقطع المجهرى (σ_f) للبلتونيوم ^{239}Pu .	الشكل (5-I):
9	المقطع المجهرى (σ_f) لاهم المواد القابلة للانشطار.	الشكل (6-I):
10	وفرة شطايا الانشطار للمواد الانشطارية U^{235} - U^{233} - Pu^{239} .	الشكل (7-I):
12	يمثل منحنى عدد النترونات بدلالة الطاقة.	الشكل (8-I):
12	تفكك نظير البروميوم Br^{87} المنتج للنترونات الفورية و المتاخرة.	الشكل (9-I):

الفصل الثاني II

20	منحنى الدالة $f(v)$.	الشكل (1-II):
21	طيف النيوترونات الحرارية (—) والبطيئة (---).	الشكل (2-II):
22	اطياف النيوترونات الناتجة عن تفاعل جسيمات الفا والبيريليوم.	الشكل (3-II):
24	دورة حياة النترون داخل المفاعل النووي.	الشكل (4-II):
27	تطور مجتمع النيوترونات وحالة المفاعل النووي.	الشكل (5-II):
32	رسم توضيحي لعملية التقسيم	الشكل (6-II):

الفصل الثالث III

35	مقطع عرضي افقي لوحدة الخلية ومقطع عرضي عمودي لشبكة المفاعل.	الشكل (1-III):
36	مخططات وحدات مختلفة من الخلايا.	الشكل (2-III):
37	انواع مختلفة من خلية الماكرو.	الشكل (3-III):
39	سلاسل من نواتج الانشطار في مكتبة WIMS.	الشكل (4-III):
40	مخطط موجز للخطوات التي يقوم بها 4 / WIMSD.	الشكل (5-III):
42	مخطط لمراحل حساب قلب المفاعل	الشكل (6-III):
43	تمثيل لخلية وقود قياسية في المفاعل NUR	الشكل (7-III):
44	نموذج لخلية ماكرو لعنصر التحكم CFE	الشكل (8-III):
44	نموذج لخلية ماكرو للماء العاكس.	الشكل (9-III):
45	هندسة قلب المفاعل NUR في ملف الادخال لـ CITVAP.	الشكل (10-III):

الفصل الرابع IV

51	يمثل صورة لنافذة توفيق المنحنيات (Curve Fitting).	الشكل (1-IV):
52	صورة لاحدى النقاط البعيدة عن البيان.	الشكل (2-IV):
53	يمثل صورة لنافذة تصميم الواجهات الرسومية.	الشكل (3-IV):
54	صورة توضح واجهة البرنامج بعد التصميم	الشكل (4-IV):
54	صورة توضح مرحلة البرمجة على مستوى ملف m.file.	الشكل (5-IV):
55	صورتين للبرنامج بعد التشغيل.	الشكل (6-IV):
56	منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{235} بدلالة Burn-up	الشكل (7-IV):
56	منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{236} بدلالة Burn-up.	الشكل (8-IV):
57	منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{238} بدلالة Burn-up.	الشكل (9-IV):
57	منحنى تغير كثافة اليورانيوم Pu^{239} بدلالة Burn-up.	الشكل (10-IV):
59	منحنى تغير كثافة السموم بدلالة Burn-up.	الشكل (11-IV):
59	منحنى تغير نسبة تخصيب اليورانيوم.	الشكل (12-IV):
63	منحنى تغير كثافة نواتج الانشطار الزائفة بدلالة Burn-up.	الشكل (13-IV):

الملحق الأول

68	صورة توضح مقطع طولي لمفاعل NUR.	الشكل (1-1):
68	صورة توضح مقطع طولي لمفاعل NUR.	الشكل (2-1):
69	رسم تخطيطي يوضح التكوين الحالي لمفاعل NUR.	الشكل (3-1):
70	صورة توضح عنصر وقود عادي.	الشكل (4-1):
70	مقطع عرضي لعنصر وقود عادي.	الشكل (5-1):
71	المقطع العرضي ل 1/4 من عنصر الوقود الخاص بالسيطرة.	الشكل (6-1):
72	مقطع عرضي لأحد عناصر الغرافيت.	الشكل (7-1):
72	نظام التبريد	الشكل (8-1):

فهرس الجداول

I الفصل الأول

8	الجدول (1-I): بعض الخصائص للمواد الانشطارية.
11	الجدول (2-I): معدل النيوترونات الانشطارية ν لكل انشطار.
14	الجدول (3-I): توزيع طاقة انشطار اليورانيوم ^{235}U على النواتج.

II الفصل الثاني

18	الجدول (1-II): بعض خصائص النيوترون والبروتون.
19	الجدول (2-II): خصائص فئات النترونات.

III الفصل الثالث

45	الجدول (1-III): تقسيم الطاقات الى خمس مجموعات
----	---

IV الفصل الرابع

55	الجدول (1-IV): بعض الأوامر المستخدمة في برمجة الماتلاب
60	الجدول (2-IV): النظائر المستقرة داخل المفاعل NUR.
60	الجدول (3-IV): النظائر ذات نصف العمر القصير داخل المفاعل NUR.
61	الجدول (4-IV): النظائر ذات نصف العمر المتوسط داخل المفاعل NUR.
61	الجدول (IV-5): النظائر ذات نصف العمر الطويل داخل المفاعل NUR.
62	الجدول (IV-6): جدول نواتج الانشطار الزائفة

الملحق الأول

73	الجدول (1-1): المواصفات الأساسية للمفاعل النووي NUR.
----	--

الرموز:

Barn : وحدة مساحة ($1\text{Barn}=10^{-24}\text{cm}^2$).

β : انحلال اشعاعي من نوع β .

$t_{1/2}$: زمن نصف العمر.

X^* : العنصر x في حالة مثارة وينتج عنه اصدار اشعاعات من نوع α .

δ : مقطع التصادم الفاعل.

N_i : عدد انوية العنصر i .

φ : التدفق.

E_n : الطاقة.

المصطلحات:

BURN-UP : معدل الاحتراق النووي (MWD/TU).

WIMSD4: برنامج حساب الخلية.

CITATION: برنامج لحساب التدفق و الطاقة في المفاعل في عدة حالات مختلفة.

Thermique: حرارية.

GUI: الواجهات الرسومية في الماتلاب.

Curve Fitting: توفيق المنحنيات.

مقدمة عامة

مقدمة عامة

أعتمد تسمية الحضارات على التقدم العلمي والتكنولوجي السائد في كل عصر، فكانت البداية بالعصر الحجري ثم عصر الفلزات وعصر البترول والغاز والفحم ... الخ، الى ان تمكن الانسان من غزو السحابة الالكترونية للذرة والوصول الى نواتها، فسمي هذا العصر بالعصر الحديث.

تميز العصر الحديث باستعمال الطاقة المنتجة في المفاعلات العاملة بالوقود النووي "اليورانيوم". وتندرج هذه الطاقة تحت اسم الطاقة النووية والتي تعتبر الأهم في العالم وذلك لتعدد مجالات استعمالها (الطب، البحث العلمي... الخ)، كما تعتبر السبب الرئيسي في سيطرة بعض الدول على العالم.

ينتج المفاعل النووي الانشطاري كم هائل من النواتج (نظائر مشعة، نيوترونات... الخ) وذلك جراء مختلف التفاعلات النووية التي تحدث داخل القلب، ونظرا لهذا الكم الهائل من النواتج تبرز الإشكالية الأهم وهي معرفة واحصاء كل هذه النواتج والمكونات وذلك للاستفادة منها في مختلف المجالات.

ونظرا لاتساع استخدام المفاعلات النووية، ارتأينا ان يكون موضوعنا عن دراسة نواتج الانشطار النووي داخل المفاعل النووي، ولإعتماد العلم الحديث على البرامج الحاسوبية، فضلنا استخدام أحد اهم البرامج الحاسوبية وهو برنامج الماتلاب MATLAB وذلك لدراسة هذه النتائج، ولصعوبة استخراج نتائج نواتج مختلف التفاعلات النووية داخل قلب المفاعل تجريبيا، اعتمدنا على اهم وأحدث برنامجين للحساب وهما برنامجي WIMS و CITVAP وذلك لمدى دقة نتائجهما المقاربة للنتائج التجريبية.

بالإضافة الى المقدمة تحتوي المذكرة على أربعة فصول وملحق.

✓ الفصل الأول: يتطرق هذا الفصل الى دراسة اهم المفاهيم الأساسية حول الانشطارات والتفاعلات النووية و كذلك دراسة ابرز المفاهيم الفيزيائية من مقاطع تصادم وخصائص نواتج الانشطارات النووية، بالإضافة الى اهم عنصرين وهما معادلة التطور ومفهوم معدل الاحتراق النووي

.BURN-UP

- ✓ الفصل الثاني: يتركز هذا الفصل على دراسة كل ما يتعلق بالنيوترونات بداية بأهميتها مرورا بأهم خصائصها وذكر مختلف أنواعها، ويتطرق كذلك هذا الفصل الى دراسة معادلة من اهم المعادلات الفيزيائية وهي معادلة النقل بمختلف اشكالها ومختلف طرق حلولها.
- ✓ الفصل الثالث: يتطرق هذا الفصل الى الطرق الحسابية بواسطة برنامجي WIMS وCITVAP، وذلك عبر مختلف المراحل بداية بالتصميم والهندسية وصولا الى الحساب واستخراج النتائج.
- ✓ الفصل الرابع: يحتوي هذا الفصل على مختلف استخدامات برنامج الماتلاب "توفيق المنحنيات، انشاء الواجهات الرسومية GUI، رسم المنحنيات"، ويحتوي كذلك على مختلف النتائج.
- ✓ الملحق: يحتوي وصف للمفاعل النووي NUR والذي تمت كل الحسابات عليه.

الفصل الأول

مفاهيم أساسية حول
الانشطارات النووية ومعادلة
التطور

الفصل الأول I

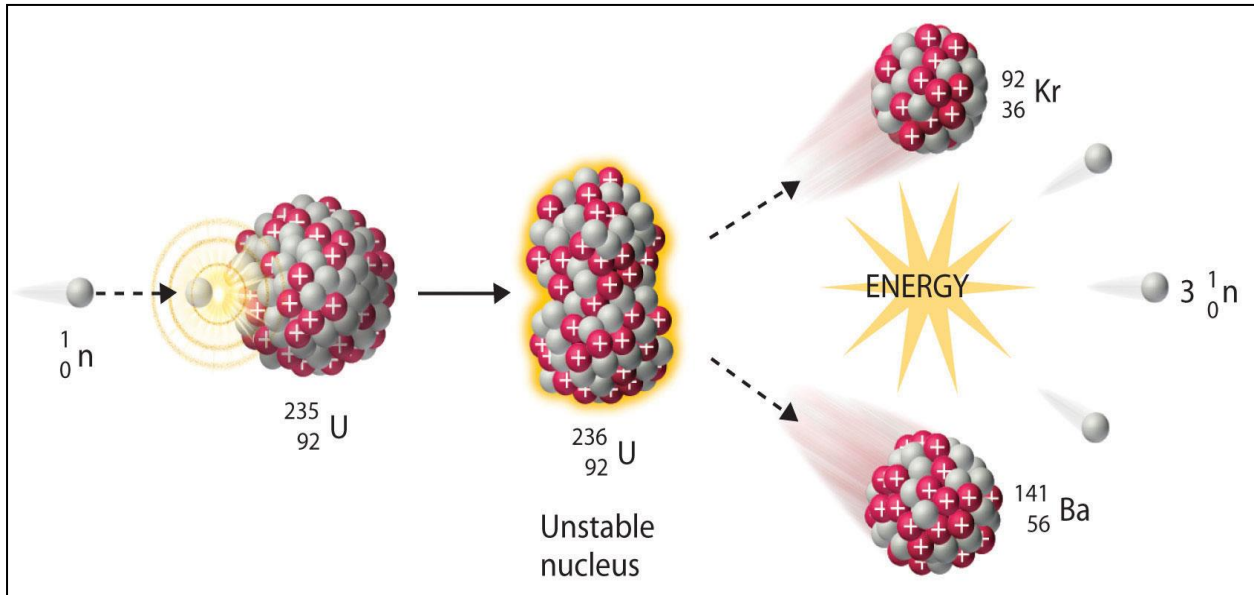
مفاهيم أساسية حول الانشطارات النووية ومعادلة التطور

1-I مقدمة

يعتبر المفاعل النووي ساحة غنية بالنشاطات الإشعاعية والانشطارات النووية على اختلاف أنواعها وهذه الأخيرة هي السبب الرئيسي لتشغيل المفاعلات النووية الحرارية. انشطار الأنوية الثقيلة ينتج عنه عدد كبير من الأنوية المختلفة ولدراسة هذه النواتج يجب التطرق إلى مفاهيم أساسية كالانشطار النووي ومعادلة التطور... الخ، وهو ما يتطرق له هذا الفصل الأول.

2-I الانشطار النووي

يعتبر الانشطار النووي من أهم تفاعلات النيوترون مع المادة حيث أنه المحرك الأساسي للمفاعلات وإنتاج الطاقة النووية فعندما تمتص نواة ثقيلة نيوترونا يتحد معها لتكوين نواة مركبة وسرعان ما تفقد هذه النواة اتزانها فتنتشر إلى شظيتين وتصدر مباشرة من اثنتين إلى ثلاثة نيوترونات وأشعة غاما. ليس لشظايا الانشطار الوزن نفسه إلا أنهما يكونان دائما نظائر مشعة بالإضافة إلى أنهما يختلفان من انشطار إلى آخر.



الشكل (1-I): التفاعلات الانشطارية النووية لنواة ^{235}U [6].

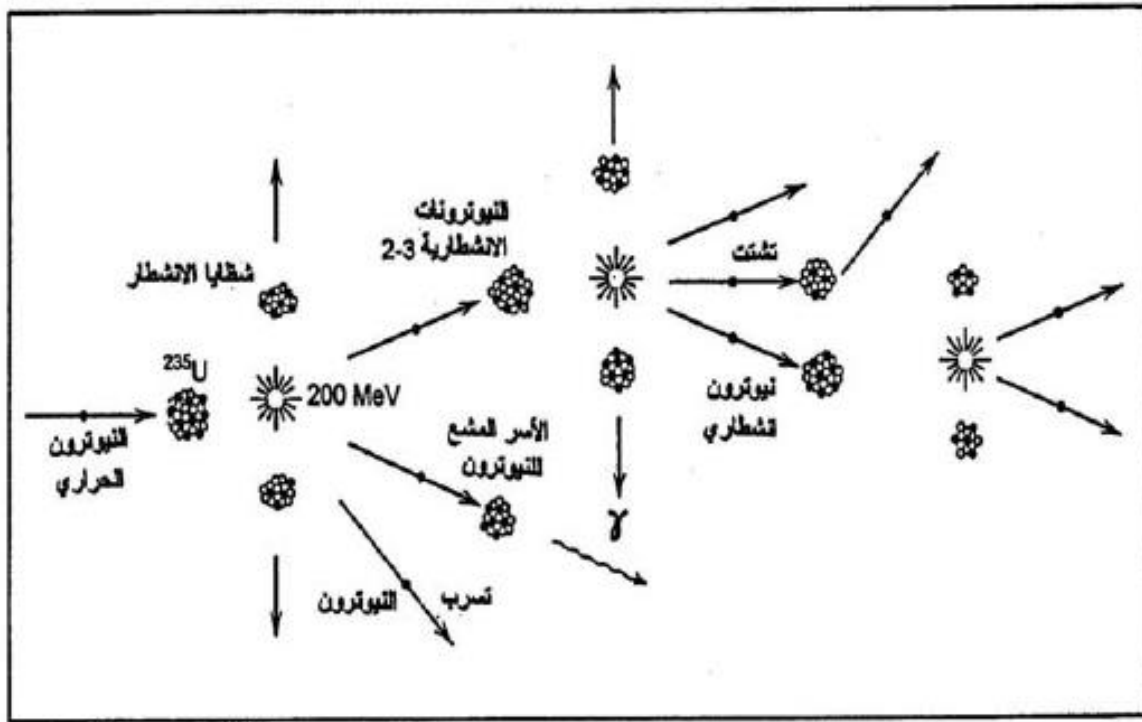
تجدر الإشارة إلى وجود ما يسمى بالنيوترونات الانشطارية المتأخرة التي تصدرها شظايا الانشطار بعد عملية الانشطار ورغم قلتها فهي تلعب دورا هاما في المفاعلات النووية والتحكم فيها.

أكثر العناصر الثقيلة لها قابلية الانشطار عند اصطدامها بالنيوترونات السريعة إلا أن المقطع المجهري غالبا ما يكون صغير أما العناصر الثقيلة التي لها مقطع مجهري كبير نسبيا للنيوترونات الحرارية فتسمى المواد الانشطارية وهي المكون الأساسي للوقود النووي [5].

I-3 التفاعل النووي المتسلسل

تتحرر عند انشطار النوى طاقة هائلة، حوالي 200 Mev لكل نواة منشطرة. وكذا يصاحب هذا الانشطار انطلاق نيوترونات إضافية معدل هذه النيوترونات الناتجة هو من 2 الى 3 نيوترونات لكل تفاعل انشطاري أي في حال انشطار نواة واحدة.

ولتوضيح أهمية ذلك، لنفترض أننا بدأنا بقصف نواة U^{235} بـ نيوترون فتتشرط هذه النواة معطية نيوترونين، لنفترض أن كلا منهما ينفذ إلى نواة من أنوية اليورانيوم ويسبب انشطارها. فتتحرر أربعة نيوترونات جديدة، وهذه النيوترونات تسبب انشطار أربعة أنوية وانبعث ثمانية نيوترونات، وفي الجيل التالي نجد ستة عشر نيوترونا ثم اثنان وثلاثون وهكذا أي أن كل من كمية النيوترونات المتحررة وكمية الأنوية المنشطرة تزداد باستمرار [4] وهو ما يوضحه الشكل رقم (I-2).



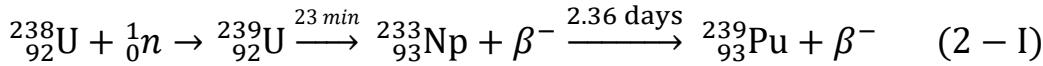
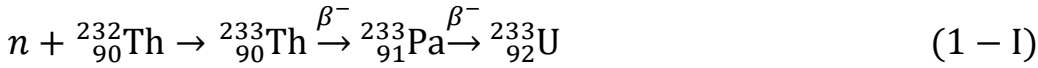
الشكل (I-2): شكل يوضح التفاعل النووي المتسلسل [1].

وهذه الانشطارات يرافقها بالطبع طاقة هائلة من الممكن أن تسبب كارثة أن لم تتم السيطرة عليها، وهذا النوع من التفاعلات يسمى بالتفاعلات المتسلسلة Chain réactions [1]، وهذا موضح في الشكل السابق.

I-3 المواد الانشطارية

تعرف المواد الانشطارية بسهولة انشطارها عن طرق النيوترونات الحرارية ولذلك تستعمل وقودا للمفاعلات النووية أهم هذه المواد هي اليورانيوم ^{233}U واليورانيوم ^{235}U والبلوتونيوم ^{239}Pu . اليورانيوم ^{233}U و البلوتونيوم ^{239}Pu لا يوجدان في الطبيعة لكن يمكن إنتاجهما في المفاعلات النووية أما اليورانيوم ^{235}U فهو يوجد في اليورانيوم الطبيعي بنسبة سبعة في الألف (0.7%) أي سبعة غرام لكل كيلوغرام من اليورانيوم الطبيعي.

المواد الثقيلة الأخرى يمكن انشطارها باستعمال النيوترونات السريعة إلا أنه من الأفضل تحويلها إلى مواد انشطارية ولهذا تسمى بالمواد قابلة الانشطار أو بالمواد الخصبة أهم هذه المواد اليورانيوم ^{238}U والتوريوم ^{232}Th الموجودان في الطبيعة بكثرة. تتم هذه العملية عن طريق امتصاص النيوترونات وفق التفاعل (n, γ) الذي يؤدي إلى تحويل ^{232}Th إلى ^{233}U وتحويل ^{238}U إلى ^{239}Pu [1]. على النحو التالي:



تجدر الإشارة الى ان هذه المواد الانشطارية المنتجة مشعة الا ان عمرها النصفى طويل جدا يساوي نصف عمر اليورانيوم ^{233}U حوالي 16×10^4 سنة، اما نصف عمر البلوتونيوم ^{239}Pu فهو يساوي 2.4×10^4 سنة كما ان هاتين المادتين سامتين للإنسان ولو بكميات صغيرة جدا.

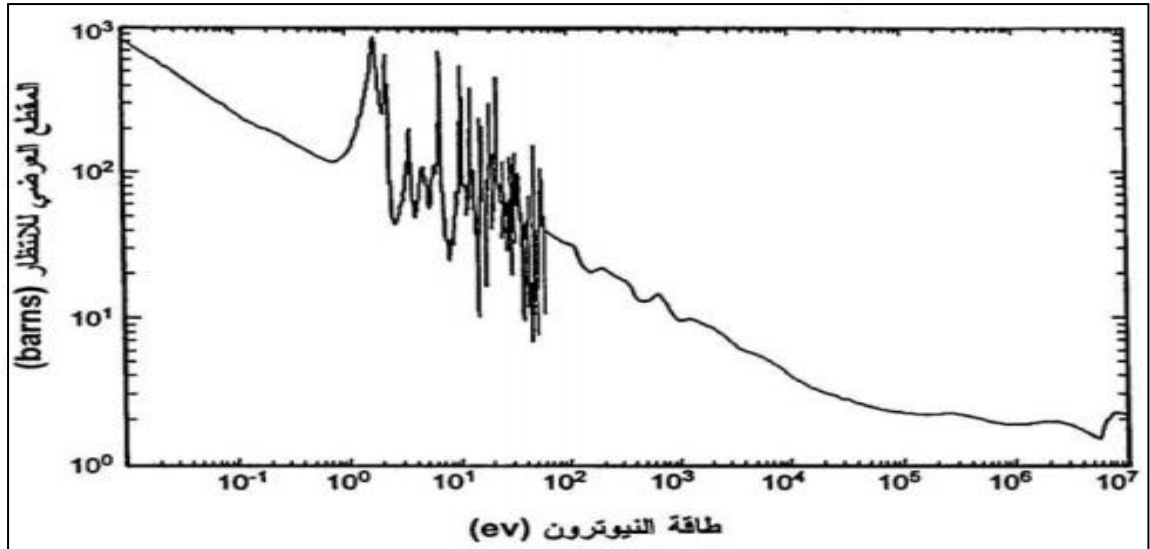
I-4 المقطع المجهرى للانشطار (σ_f)

I-4-1 المقطع المجهرى للمواد الانشطارية

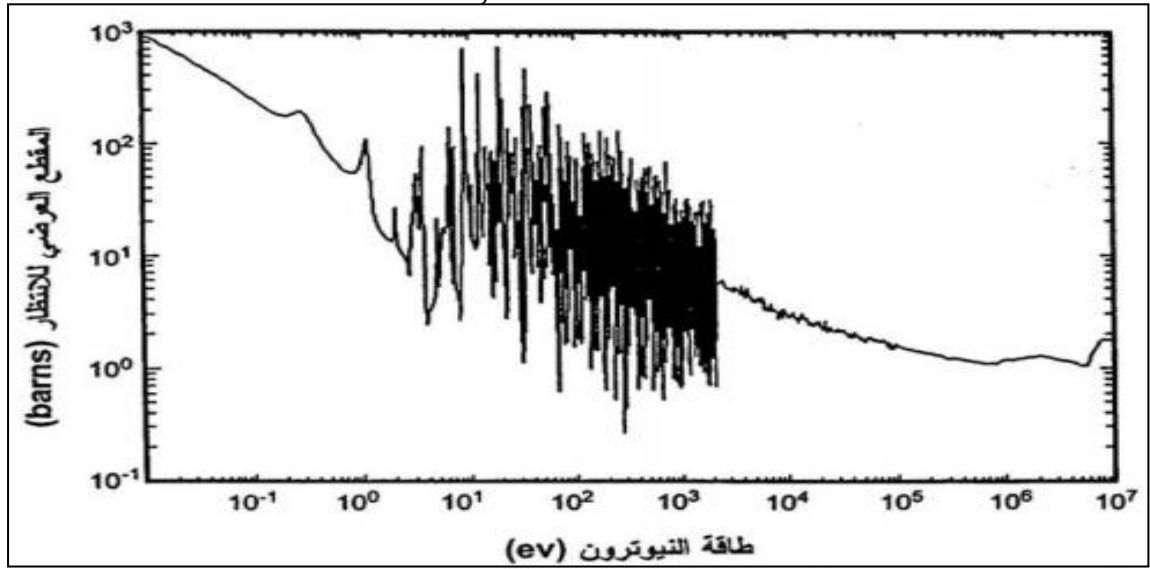
يتميز المقطع المجهرى للانشطار لاهم المواد الانشطارية بثلاثة مناطق، كما هو الحال بالنسبة للمقطع المجهرى لأسر النيوترون المشع.

المنطقة الاولى تخص النيوترونات البطيئة والتي تكون فيها طاقة النترون (E_n اقل من 60 eV) وهذه المنطقة هي التي يتغير فيها المقطع المجهرى للانشطار حسب قانون عكس السرعة $1/v$. المنطقة الثانية او منطقة الرنين حيث تصبح تغيرات المقطع المجهرى كبيرة وسريعة تتخللها قمم متعددة.

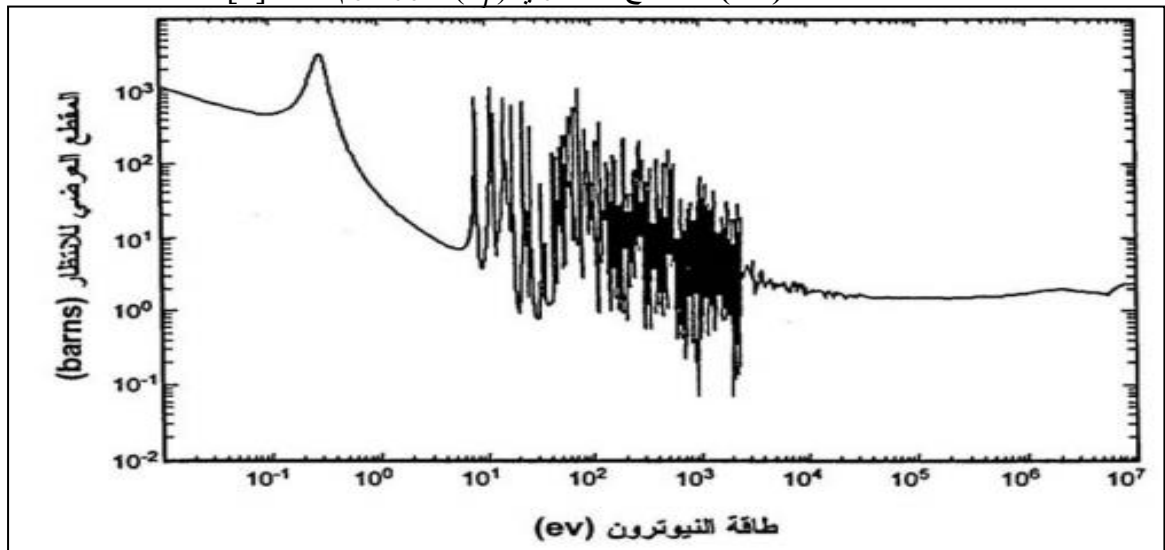
بعد ذلك تأتي منطقة النيوترونات السريعة حيث يصبح المقطع المجهرى لانشطار شبه ثابت ويتغير ببطء. تظهر الاشكال (I-3) و (I-4) و (I-5) رسم تغير المقطع المجهرى لانشطار اهم المواد الانشطارية مثل اليورانيوم ^{233}U و ^{235}U والبلوتونيوم ^{239}Pu حسب طاقة النيوترونات [1].



الشكل (3-I): المقطع المجهري (σ_f) لليورانيوم ^{233}U [1].



الشكل (4-I): المقطع المجهري (σ_f) لليورانيوم ^{235}U [1].



الشكل (5-I): المقطع المجهري (σ_f) للبلينيوم ^{239}Pu [1].

يلاحظ في رسومات الاشكال السابقة أن أكبر قيم المقاطع المجهرية للانشطار موجودة في المنطقة الاولى عند النيوترونات الحرارية ولهذا فان أكثر المفاعلات النووية تشغل في هذه المنطقة، ولهذا تسمى بالمفاعلات الحرارية.

تجدر الإشارة الى ان تفاعل اسر نيوترون المشع يكون دائما في تنافس مع الانشطار وتحد من عدد الانشطارات. ولأهمية هذه الظاهرة في تصميم المفاعلات النووية خصص معامل لذلك يسمى معامل نسبة الاسر الى الانشطار الذي له العلاقة التالية:

$$\alpha = \frac{\sigma_Y}{\sigma_f} \quad (3-I)$$

حيث σ_Y تمثل المقطع المجهرى لأسر النيوترون، و σ_f تمثل المقطع المجهرى للانشطار.

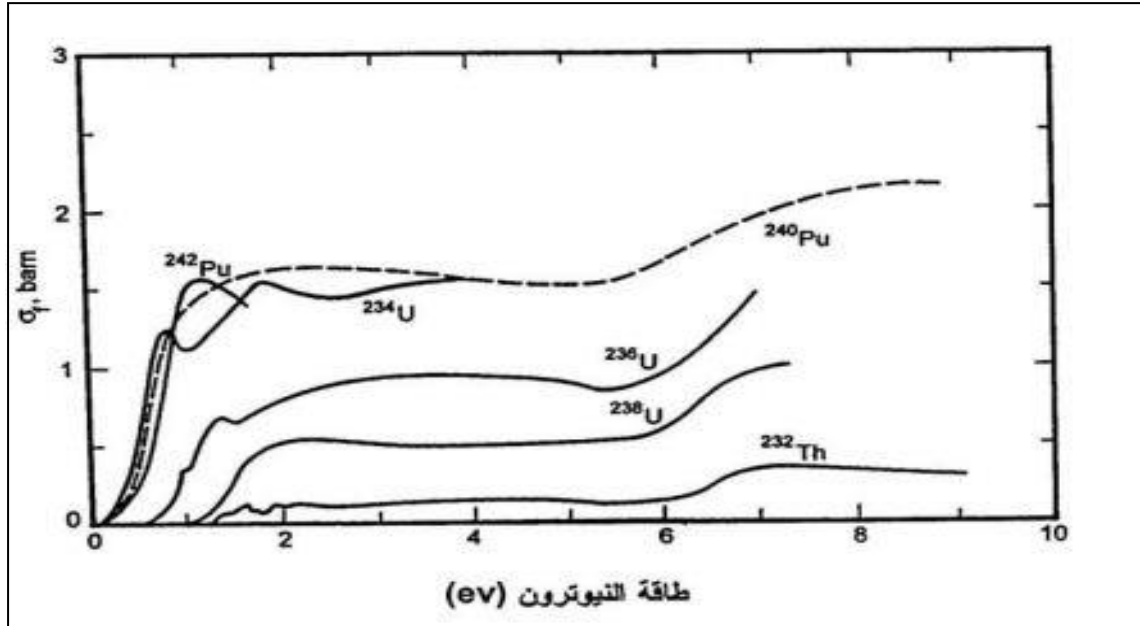
هذا المعامل يتغير حسب طاقة النيوترون ونوع المادة الانشطارية ويتناقص بشكل عام بسرعة عندما تفوق طاقة النيوترون حوالي ($E_n > 0.1\text{Mev}$) الا ان هذا المعامل مهم خاصة عند النيوترونات الحرارية. يبين الجدول اهم قيم هذا المعامل وبعض المقاطع المجهرية لاهم المواد الانشطارية.

الجدول (1-I): بعض الخصائص للمواد الانشطارية [1].

العناصر	$\sigma_a = \sigma_Y + \sigma_f(\text{barn})$	$\sigma_f(\text{barn})$	v	α
²³³ U	578.8	531.1	2.492	0.0899
²³⁵ U	680.8	582.2	2.418	0.169
²³⁹ Pu	1011.3	742.5	2.871	0.362
²⁴¹ Pu	1377	1009	2.927	0.365

2-5-I المقطع المجهرى للمواد قابلة للانشطار

المقطع المجهرى لانشطار المواد الغير قابلة لانشطار(الخصبة) يساوي الصفر عند النيوترونات البطيئة وذلك لان عملية انشطار هذه المواد لها عتبة وتحتاج الى طاقة اضافية يأتي بها النيوترون كما سبق شرحه. عندما تفوق طاقة النيوترون الحركية طاقة العتبة يصبح المقطع المجهرى للانشطار أكبر من الصفر ويزيد مع طاقة النيوترون كما هو موضح في الشكل (6-I) [1].

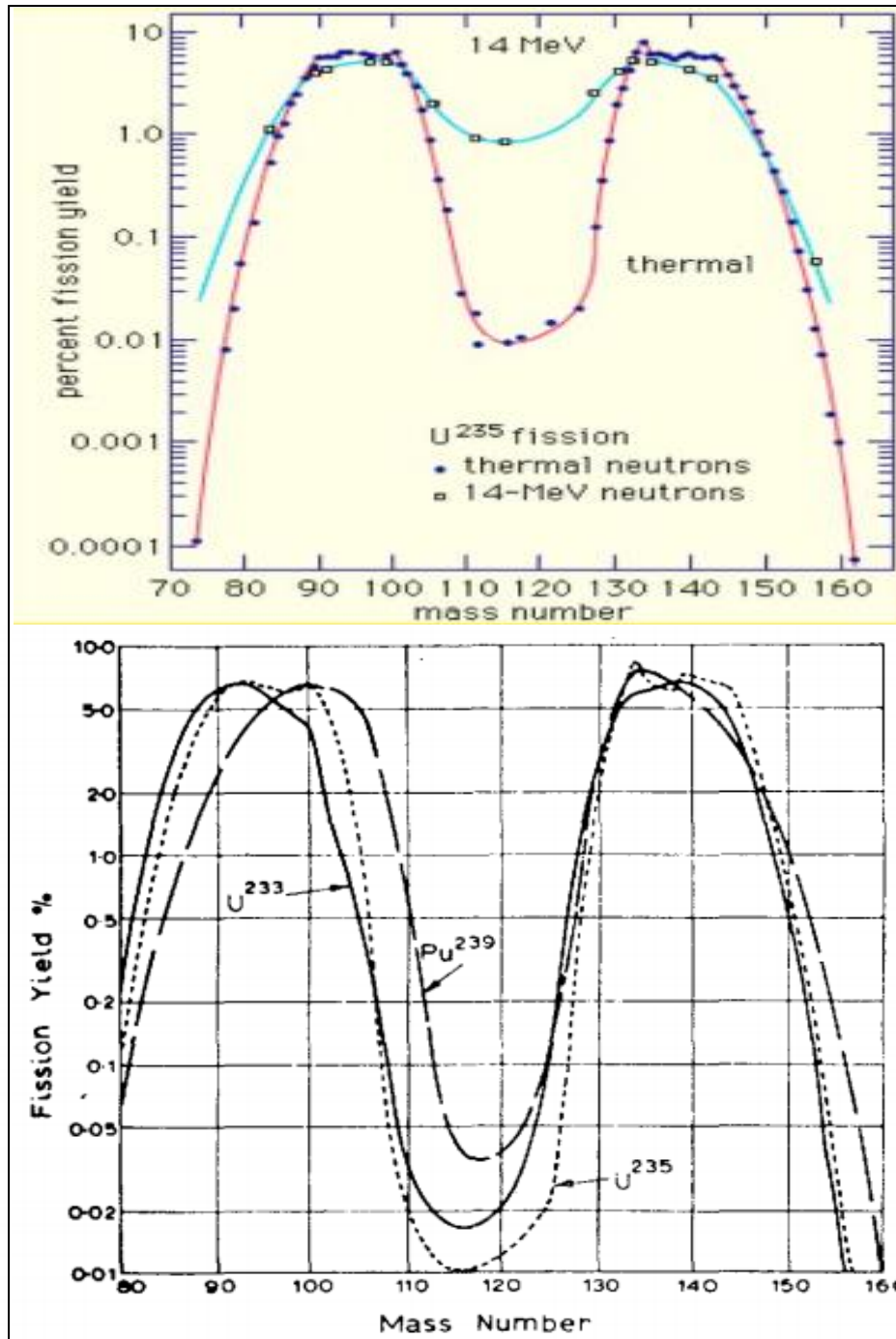


الشكل (6-I): المقطع المجهري (σ_f) لاهم المواد القابلة للانشطار [1].

يلاحظ في الشكل السابق ان اقصى قيمة للمقطع المجهري σ_f للمواد قابلة للانشطار لا يتجاوز اثنين بارن مما يجعلها غير مجدية لعملية الانشطار ولهذا يفضل تحويل هذه المواد الى مواد انشطارية [1].

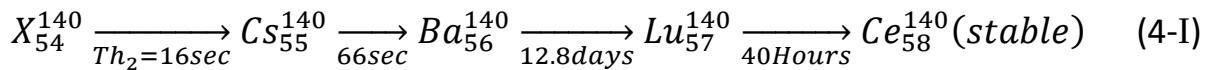
6-I نواتج الانشطار

لا تؤدي عملية الانشطار النووي الى انتاج شطرين متماثلين في الوزن الا نادرا، بل القاعدة عدم التماثل في وزن شظايا الانشطار. يوضح الشكل أ (7-I) نسبة وفرة شظايا الانشطار الناتجة عن انشطار اليورانيوم ^{235}U بالنيوترونات الحرارية والنيوترونات السريعة حسب العدد الكتلي A [7]. في كلتا الحالتين نلاحظ عدم تماثل وزن شظايا الانشطار. يوضح الشكل ب (7-I) ايضا نسبة وفرة شظايا الانشطار الناتجة عن انشطار اليورانيوم ^{233}U والبليتونيوم ^{239}Pu بالنيوترونات الحرارية حسب العدد الكتلي A [8]. ونلاحظ كذلك تقاربا كبيرا في توزيع كتل الشظايا للعناصر الانشطارية الثلاثة.



الشكل (7-I): وفرة شظايا الانشطار للمواد الانشطارية U^{235} - U^{233} - Pu^{239} [7] [8]

تحتوي في شظايا الانشطار على زيادة في عدد النيوترونات مقارنة بعدد البروتونات كما هو الحال بالنسبة للمواد الانشطارية. هذه الزيادة في النيوترونات تجعل لشظايا الانشطار نشاط بيتا الاشعاعي المتتالي حتى الوصول الى الاستقرار على النحو التالي مثلاً.



كل شظايا الانشطار نظائر مشعة والبعض منها لا يوجد في الطبيعة اصلا مثل البروميثيوم Pr_{61}^{147} والتكنيسيوم Te_{43}^{99} . يعد النشاط الاشعاعي لنواتج الانشطار من معوقات الاستفادة من الطاقة النووية حيث انه يسبب مشاكل عديدة. ويسبب تراكم المواد المشعة مع الزمن داخل الوقود النووي صعوبة التعامل مع مكونات المفاعل النووي حتى عند توقيفه. كما انه يتحتم تبريد الوقود المستعمل لمدة طويلة قبل اعاده تركيبه. كذلك يجب المحافظة على البيئة من التلوث الاشعاعي في كل المراحل ابتداء من تصنيع الوقود انتهاء بتخزين النفايات المشعة.

يصعب حساب كمية الاشعاع بدقة نظرا للكميات الهائلة والمختلفة من المواد المشعة في قلب المفاعل، الا انه بالإمكان استعمال بعض المعادلات التقريبية لحساب معدل كميات الاشعاعات الصادرة عن شظايا الانشطار وحسب المدة الزمنية t باليوم بعد الانشطار [1].

$$Rate(\beta^-)_{FF} \approx 3.8 \times 10^{-6} \times t^{-1.2} \quad \beta/sec \quad (5-I)$$

$$Rate(\gamma)_{FF} \approx 1.9 \times 10^{-6} \times t^{-1.2} \quad \gamma/sec \quad (6-I)$$

يمكن حساب شدة النشاط الاشعاعي باستعمال معادلة معدل اشعة بيتا السابقة لان كل بيتا ناتج عن تفكك واحد. وعند قسمة تلك القيمة على الثابت 3.7×10^{10} نحصل على شدة النشاط الاشعاعي بالكوري.

1-6-I النيوترونات الانشطارية الفورية

تنقسم النيوترونات الانشطارية الى نيوترونات فورية ونيوترونات متأخرة يتم اصدارها في اقل من 55 ثانية على اقصى تقدير من عملية الانشطار.

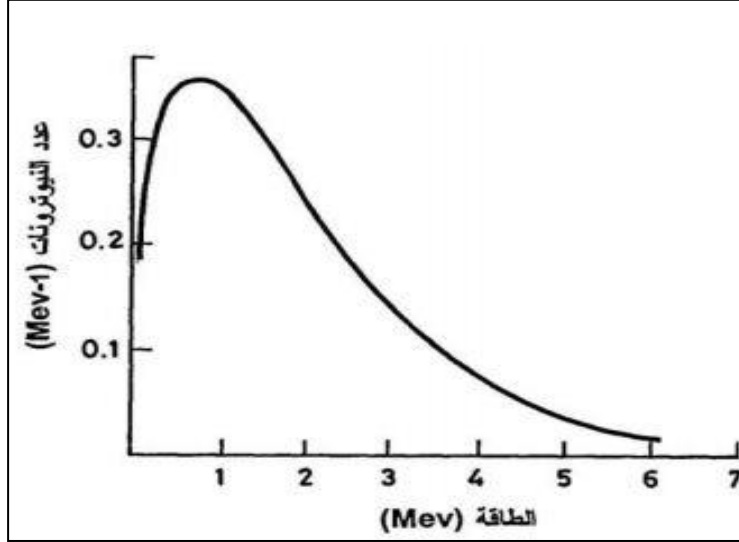
معدل النيوترونات الانشطارية يرمز له بالرمز ν ويختلف حسب المادة الانشطارية وطاقة النيوترونات المسببة للانشطار. يظهر الجدول (2-I) قيم ν للنيوترونات الحرارية والسريعة لبعض المواد الانشطارية والمواد القابلة للانشطار.

الجدول (2-I): معدل النيوترونات الانشطارية ν لكل انشطار [1].

الطاقة (Mev)	^{232}Th	^{233}U	^{235}U	^{238}U	^{239}U
الحرارية	-	2.48	2.42	-	2.87
1.5	-	2.70	2.57	2.65	3.08
14.1	4.64	3.86	4.17	4.50	4.75

تختلف طاقة النيوترونات الانشطارية الفورية من انشطار الى اخر، لكن توزيعها حسب الطاقة يظهر على شكل طيف متصل كما موضح لانشطار اليورانيوم U^{235} بالنيوترونات الحرارية في الشكل (8-I). هذا التوزيع يمكن تمثيله بالعلاقة التقريبية التالية:

$$F(E) = 0.453 \times \exp(-1.036E_n) \times \sin h \sqrt{2.29E_n} \quad (7-I)$$



الشكل (8-I): يمثل منحنى عدد النوترونات بدلالة الطاقة [1].

يمكن حساب متوسط النيوترونات الفورية باستعمال المعادلة التالية:

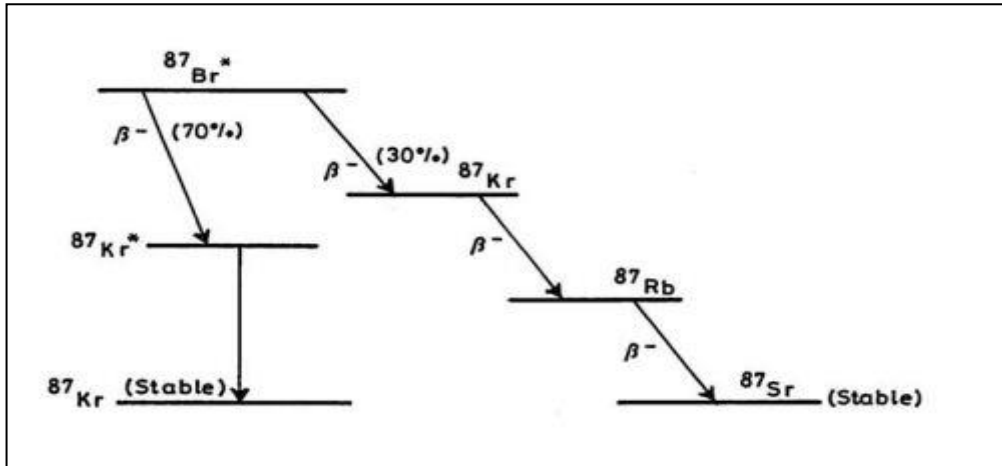
$$\overline{E_n} = \int_0^\infty f(E)dE = 1.98 \text{ Mev} \quad (8-I)$$

حيث ان الدالة $f(E)dE$ تمثل نسبة النيوترونات الانشطارية الفورية التي لها طاقة محصورة بين E و $E + dE$ [1].

2-6-I النيوترونات الانشطارية المتأخرة

تنتج النيوترونات الانشطارية المتأخرة عن طريق تفكك شظايا الانشطار الغنية بالنيوترونات، وهذه العملية تحكمها قوانين التفكك الاشعاعي العادي من ثبات ونصف عمر الى اخره. رغم قلة هذه النيوترونات المتأخرة نسبيا حوالي 1% الا انها تلعب دورا هاما في تحكم المفاعلات.

يوضح الشكل عملية تفكك شظايا البروميوم Br^{87} على سبيل المثال الذي يتفكك عن طريق بيتا بنسبة 70% وعن طريق النيوترونات المتأخرة بنسبة 30% [1].



الشكل (9-I): تفكك نظير البروميوم Br^{87} المنتج للنيوترونات الفورية و المتأخرة [1].

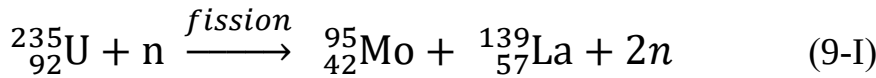
I-6-3 اشعة غاما

اشعة غاما الناتجة عن الانشطارات تنقسم أيضا الى اشعة فورية واشعة متأخرة ناجمة عن تفكك شظايا الانشطارات. لقد اثبتت القياسات ان طيف اشعة غاما الفورية قريب من طيف النيوترونات الفورية أيضا حيث تصل اقصى طاقة اشعة جاما حوالي 100Mev لكن بمعدل لا يتجاوز 2Mev. اما اشعة جاما المتأخرة فهي متعددة الطاقات وتصدرها شظايا الانشطارات اثناء تفكك بيتا المتتالي للتخلص من الطاقة الزائدة في النواة حتى الوصول الى الاستقرار[5].

I-7 طاقة الانشطارات

الطاقة الناتجة عن عملية انشطار اليورانيوم والبليتونيوم متقاربة جدا وتساوي حوالي 200Mev. باستعمال معادلات الطاقة المكافئة للكتلة المفقودة في تفاعل الانشطار يمكن حساب الطاقة الناتجة. على سبيل المثال طاقة انشطار اليورانيوم ^{235}U بالنيوترونات الحرارية الذي يؤدي الى انتاج المولبدان ^{95}Mo واللتال ^{139}La واثنين من النيوترونات[5].

انشطار اليورانيوم ^{235}U بالنيوترونات الحرارية الذي يؤدي لانتاج المولبدان واللتال على النحو التالي.



✓ قبل التفاعل

$$M_u + m_n = 235.044 + 1.009 = 236.053 a.m.u \quad (10\text{-I})$$

✓ بعد التفاعل

$$M_{M_0} + M_{L_a} + 2m_n = 94.906 + 138.906 + 2 \times 1.009 = 235.830 a.m.u \quad (11\text{-I})$$

✓ الكتلة المفقودة (تحولت الى طاقة)

$$\Delta m = (M_u + m_n) - (M_{M_0} + M_{L_a} + 2m_n) \quad (12\text{-I})$$

$$= 236.053 - 235.830 = 0.223 a.m.u$$

✓ طاقة الانشطارات

$$E_f = 931 \times \Delta m = 931 \times 0.223 = 207 \text{Mev} \quad (13\text{-I})$$

الطاقة الناتجة من الانشطارات الممكنة الأخرى متقاربة جدا حيث ان E_f تتراوح بين 195Mev و 207Mev لانشطار اليورانيوم ^{235}U وكذلك أيضا لانشطار البليتونيوم ^{239}Pu [1].

تنقسم طاقة الانشطار على نواتجه المختلفة من شظايا ونيوترونات واشعة غاما. كما يوضح الجدول (I3-) توزيع كميات الطاقة التي تعود لكل من نواتج الانشطار، ويعطي فكرة أولية عن مدى كل منها في المادة.

الجدول (3-I): توزيع طاقة انشطار اليورانيوم ^{235}U على النواتج [1].

المدى	الطاقة (Mev)	توزيع طاقة الانشطار
<>مم	168	الطاقة الحركية لشظايا الانشطار
10-100 سم	5	الطاقة الحركية للنيوترونات
10-100 سم	7	طاقة اشعة غاما الفورية
10-100 سم	15	طاقة تفكك بيتا و غاما
∞	12	طاقة النيوتريينو المصاحب لبيتا
	207	مجموع الطاقة

يلاحظ من الجدول السابق ان حوالي 85% من طاقة الانشطار تظهر على شكل طاقة حركية لشظايا الانشطار وجسيمات بيتا التي تتوقف كلها في دائرة قطرها اقل من واد ملم حول نقطة الانشطار. تتحول هذه الطاقة الحركية مباشرة الى طاقة حرارية. كذلك طاقة اشعة غاما الفورية او الناتجة عن تفكك النظائر وطاقة النيوترونات تتحول الى حرارة لأنها لا اخرج من المفاعل. الطاقة التي لا يمكن الاستفادة منها في عملية الانشطار هي التي يحملها النيوتريينو حوالي 12 Mev اثناء تفكك بيتا. ندرة تفاعل جسيمات النيوتريينو مع المادة تمكنها من الخروج من المفاعل بدون تفاعل.

8-I معادلة التطور

معادلة التطور هي معادلة تعطي تركيز ذرة معينة بالنسبة للحجم بدلالة الزمن داخل المفاعل النووي يرمز لهذا العنصر بالرمز "i". وهذه المعادلة تعطي تركيز عنصر معين في وحدة الزمن وهي تساوي الفرق بين عدد الأنوية المنتجة و الأنوية المختفية في مجال زمني معين، مع اهمال الأنوية قصيرة العمر [7].

معادلة التطور شكلت لبرنامج WIMS وشكلها كالآتي:

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i(t) - A_i N_i(t) + \sum_k \delta(i, j_1(k)) \alpha_{ki} C_k N_k(t) + \sum_k \delta(i, j_2(k)) \beta_{ki} \lambda_k N_k(t) + \sum_k \gamma_{ki} F_k N_k(t) \quad (14-I)$$

حيث:

N_i : كثافة النضير i.

λ_i : ثابت الانحلال الإشعاعي للنظير i.

A_i : شدة تفاعل الامتصاص الميكروسكوبي للنظير i.

F_k : شدة تفاعل الانشطار الميكروسكوبي للنظير i.

C_k : شدة تفاعل القنص الميكروسكوبي للنظير i.

γ_{ki} : مردود الانشطار الذي يعطي النظير i من طريق الانشطار النووي للنظير k.

α_{ki}, β_{ki} : الجزء من النظير i الذي يأتي عن طريق القنص أو الانحلال إشعاعي على الترتيب لنظير k .

$j_1(k), j_2(k)$: معاملات تعريف كل نواتج النظير k عن طريق القنص أو الانحلال الإشعاعي.

$\delta(i, j)$: ثابت كرونكر (Kronecker).

معادلة التطور لبعض النظائر:

U235 :

$$\frac{dN_{235}}{dt} = -\sigma_{a,235}(t) N_{235}(t) \phi(t)$$

U236 :

$$\frac{dN_{236}}{dt} = +\sigma_{c,235}(t) N_{235}(t) \phi(t) - \sigma_{a,236}(t) N_{236}(t) \phi(t)$$

U238 :

$$\frac{dN_{238}}{dt} = -N_{238}(t) \sigma_{a,238}(t) \phi(t)$$

Pu239 :

$$\frac{dN_{239}}{dt} = +\sigma_{c,238}(t) N_{238}(t) \phi(t) - \sigma_{a,239}(t) N_{239}(t) \phi(t)$$

Pu240 :

$$\frac{dN_{240}}{dt} = +\sigma_{c,239}(t) N_{239}(t) \phi(t) - \sigma_{a,240}(t) N_{240}(t) \phi(t)$$

Pu241 :

$$\frac{dN_{241}}{dt} = +\sigma_{c,240}(t) N_{240}(t) \phi(t) - \sigma_{a,241}(t) N_{241}(t) \phi(t) - \lambda_{241}(t) N_{241}(t)$$

Pu242 :

$$\frac{dN_{242}}{dt} = +\sigma_{c,241}(t) N_{241}(t) \phi(t) - \sigma_{a,242}(t) N_{242}(t) \phi(t)$$

حيث

$\sigma_{c,x}$: مقطع التصادم الفعال الميكروسكوبي لالتقاط النيوترون بواسطة النظير x .

$\sigma_{a,x}$: مقطع التصادم الفعال الميكروسكوبي لامتصاص النيوترون بواسطة النظير x .

9-I معدل الاحتراق النووي BURN-UP

1-9-I تعريف وحدات معدل الاحتراق النووي

معدل الاحتراق او Burn-up لعنصر الوقود هو واحد من اهم المعايير لوصف نضوب الوقود وتحديد مخزون النظائر النووية الموجودة في الوقود في زمن معين.

معدل الاحتراق هو الكمية التي تستخدم للتعبير عن معدل تدمير أنوية الوقود الموجودة في قلب المفاعل. تدمير نواة اليورانيوم يتناسب بشكل مباشر مع الطاقة ومدة الاشتغال. عمليا يتم ربط هذه القيمة بالكتلة الأساسية m للمنطقة المحددة [9].

$$BU = (P \cdot \Delta t) / m \quad (15-I)$$

حيث:

P : الطاقة

Δt : زمن نشاط المفاعل بالأيام

m : الكتلة الكلية للنوى الثقيلة (أنوية اليورانيوم) الموجودة في الوقود.

وحدة شدة الاحتراق هي MWD/TU وهي تساوي:

$$1 \text{ MWD/TU} = 1.07 \times 10^{-4} \% \text{ نواة منشطرة} \quad (16-I)$$

او

$$1\% \text{ الأنوية المنشطرة} = 9.370 \text{ MWD/TU} \quad (17-I)$$

الفصل الثاني

دورة النيوترونات في المفاعلات النووية

الفصل الثاني II

دورة النيوترونات في المفاعلات النووية

1-II مقدمة

يعتبر النيوترون اهم الجسيمات التي اكتشفها الانسان في القرن الماضي حيث انها اساس التفاعلات النووية المنتجة للطاقة والنظائر المشعة الاصطناعية.

ولهذا الجسيم خصائص فريدة تمكنه من الدخول إلى قلب النواة والتفاعل مع مكوناتها مما يؤدي احيانا الى انشطارها وانتاج طاقة هائلة. وسيختص هذا الفصل بدراسة النيوترون وخصائصه. ثم نتطرق الى دراسة معادلة نقل النيوترونات بمختلف اشكالها.

2-II النيوترون

بعد اكتشاف النشاط الاشعاعي في بداية القرن الماضي تكاثفت الجهود العملية في الكثير من الدول الغربية لدراسة الاشعاعات النووية واجراء تجارب لمعرفة خصائصها. ادت تجارب قذف العناصر الخفيفة خاصة الليثيوم والبرون والبيريليوم بجسيمات الفا في بداية الثلاثينيات 1930-1932 الى اكتشاف جسيم جديد له خصائص غير معروفة سابقا. كللت التجارب التي قام بها العالم الامريكي شادويك في عام 1933 بالنجاح حيث تمكن من حساب كتلة هذا الجسيم الجديد من خلال قياس كتلة نواتج تفاعل جسيم الفا مع البرون والبيريليوم وذلك باستخدام جهاز غرفة ولسون والغرفة المؤينة. اثبتت هذه التجارب ان الجسيم الجديد له كتلة قريبة من كتلة البروتون حوالي وحدة الكتلة الذرية 1.15 u. a.m وان قدرته الفائقة في اختراق المواد ناتجة عن عدم وجود شحنة لهذا الجسيم ولهذا سمي بالنيوترون. [11.1] اما التفاعلات المنتجة للنيوترون والسهلة الاعداد يمكن كتابتها على النحو التالي:



3-II خصائص النيوترون

اثبتت التجارب اللاحقة لاكتشاف النيوترون ان هذا الجسيم من فئة الفرميونات مثل البروتون حيث لكل منها ثلاث كواركات مختلفة النوع وهما المكونات الاساسيان للنواة المادة. كذلك اثبتت تجارب تصادم الجسيمات مؤخرا ان النيوترون ليس جسيم اولي مثل البروتون وان كلاهما يتكون من جسيمات اولية تسمى الكواركات. يعطى الجدول (1-II) بعض خصائص النيوترون وكذلك البروتون للمقارنة [1].

الجدول (1-II): بعض خصائص النيوترون والبروتون [1].

المكونات	الشحنة	الكتلة U.m.a	الجسيم
2كواركات(تحت)+1كوارك(فوق)	0	1.0078	النيوترون
2كواركات(فوق)+1كوارك(تحت)	1	1.0073	البروتون

لا يوجد نيوترون حر في الطبيعة الا أثر التفاعلات النووية وهذه الحالة لا تدوم كثيرا لانه جسيم غير مستقر في هذه الحالة وانما يكون مستقرا داخل النواة.

اثبتت التجارب ان النيوترون الحر له نشاط اشعاعي بيتا سالبة حيث يتحول تلقائيا الى بروتون والكترون ونيوترينو على النحو التالي:



نصف عمر النيوترون الحر يساوي $t_{1/2} = 12.8 \text{ min}$. الا ان هذا التفكك يكون نادرا. لان النيوترون يقطع مسافة كبيرة جدا في هذه المدة. وغالبا ما يتم تفاعله بطريقة او باخرى مع نوى المواد المحيطة به.

4-II تصنيف النيوترونات

غالبا ما تكون طاقة جسيمات الفا وبيتا الناتجة عن النشاط الاشعاعي كبيرة نسبيا حيث ان اقلها حوالي عشرون كيلوالكترون فولت 20 kev مما يجعل سرعتها كبيرة جدا. اما جسم النيوترون فبإمكانه ان يتخذ طاقات متعددة صغيرة وكبيرة جدا مما يترجم بسرعات متفاوتة تساعد على تصنيفه الى اربعة فئات لكل منها خصائص مختلفة. يوضح الجدول (2-II) بعض خصائص هذه النيوترونات حسب الطاقة والسرعة ودرجة الحرارة والموجة المصاحبة لجسم النيوترون [11,1].

الجدول (2-II): خصائص فئات النيوترونات [11,1].

فئة النيوترونات	الطاقة (ev)	السرعة (m/sec)	درجة الحرارة (k)	طول الموجة المصاحبة (m)
الحرارية	0.25	2.2×10^3	290	1.81×10^{-6}
البطيئة-المتوسطة	$10^4 - 1.0$	$1.4 \times 10^6 - 1.4 \times 10^4$	$1.2 \times 10^6 - 1.2 \times 10^4$	$2.9 \times 10^{-9} - 2.9 \times 10^{-7}$
السريعة	$10^8 - 10^6$	$1.3 \times 10^8 - 1.4 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{10} - 1.2 \times 10^8$	$2.9 \times 10^{-11} - 2.9 \times 10^{-10}$
النسبية	10^{10}	2.9×10^8	1.2×10^{12}	1.1×10^{-12}

لهذا التصنيف مبررات عملية فقط حيث ان تفاعل الفئات الثلاثة الاولى خاصة تختلف عن بعضها من ناحية انواع التفاعلات واحتمال حدوثها.

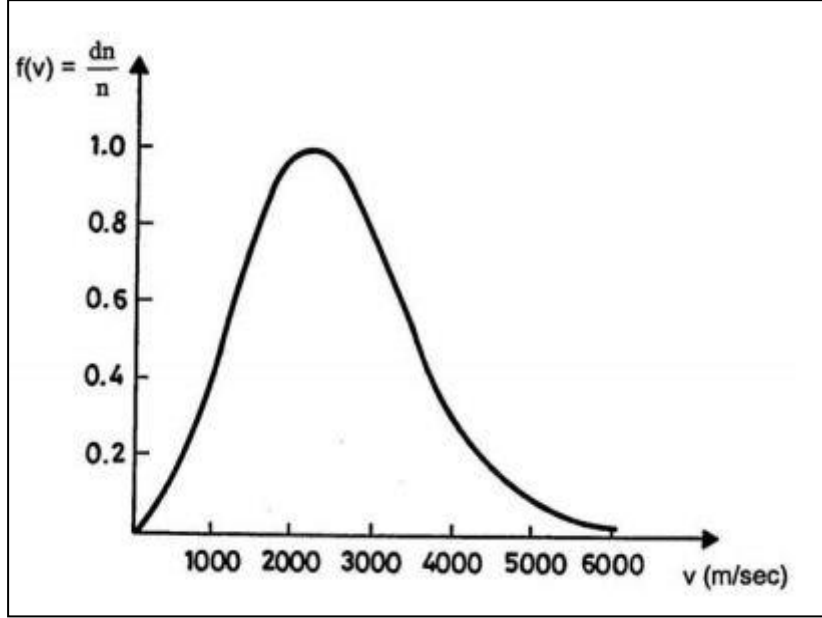
1-4-II النيوترونات الحرارية

النيوترونات الحرارية هي في اتزان ترموديناميكي وحراري مع الوسط المادي الموجودة فيه. ولذلك سميت بهذا الاسم. كما انه بالإمكان تطبيق قوانين نظرية حركة الغازات عنها حيث ان توزيع النيوترونات وانتشارها داخل الوسط المادي يخضع للقانون الاحصائي لماكسويل بولتزمان وفق المعادلة التالية [1]:

$$\frac{dn}{n} = \frac{4v^2}{\sqrt{\pi v_0}} \cdot dv \cdot e^{-\left(\frac{v}{v_0}\right)^2} \quad (4 - II)$$

حيث ان dn يمثل عدد النيوترونات التي سرعتها بين v و $v + dv$ و n عدد النيوترونات الاجمالي. v_0 فيمثل السرعة الاكثر احتمالا التي توجد تحت قمة منحنى الدالة:

$$f(v) = \frac{dn}{n} \quad (5 - II)$$



الشكل (II-1): منحنى الدالة $f(v)$ [1].

توجد علاقة هامة ايضا حسب نظرية حركة الغاز بين السرعة الاكثر احتمالا v_0 ودرجة الحرارة المطلقة (K) وتكتب هذه العلاقة على النحو التالي:

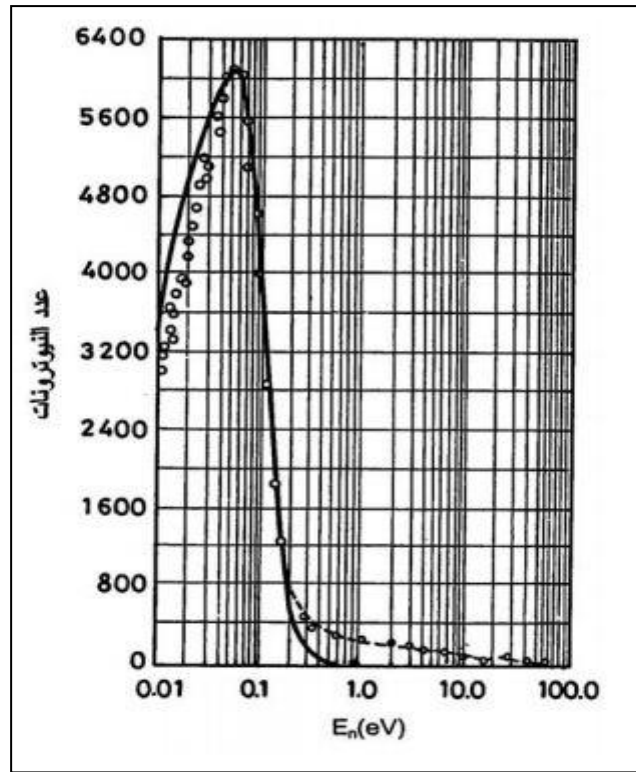
$$E_n = \frac{1}{2} m_n v_0^2 = KT \quad (6 - II)$$

K : ثابت ماكسويل بولتزمان.

II-4-2 النيوترونات البطيئة والمتوسطة

بعد فئة النيوترونات الحرارية التي تنطبق على انتشارها وتوزيعها نظرية حركة الغازات تأتي بعدها فئة النيوترونات البطيئة والمتوسطة التي تفوق طاقتها نصف الكترون فولط. لهذه الطاقة خاصية مميزة خاصة فمثلا عنصر الكاديوم (Cd) يمتص التي لها طاقة اقل منها ويصبح شفافا للنيوترونات التي لها طاقة أكبر من ذلك.

يوضح الشكل (II-2) طيف توزيع طاقة النيوترونات الصادرة من احد قنوات مفاعل البحث. ونلاحظ في هذا الرسم ان الجزء الاول من المنحنى وهو على شكل خط متصل يمثل توزيع النيوترونات الحرارية ام الجزء الثاني من المنحنى وهو الخط المتقطع فيمثل توزيع النيوترونات البطيئة والمتوسطة [1].



الشكل (2-II): طيف النيوترونات الحرارية (—) والبطيئة (---) [1].

3-4-II النيوترونات السريعة

يعتبر النيوترون سريعاً عندما تكون طاقته أكبر من $(E_n > 0.5 \text{ meV})$ وينتج هذا النوع خلال تفاعل النيوترونات مع بعض المواد. أما النيوترونات التي تتجاوز طاقتها $(E_n > 20 \text{ meV})$ فهي نادرة جداً وتسمى أحياناً بالنيوترونات النسبية لأن سرعتها تقترب من سرعة الضوء. تجدر الإشارة إلى أنه كلما زادت طاقة النيوترونات كلما نقص احتمال تفاعلها مع المواد [1].

5-II إنتاج النيوترونات

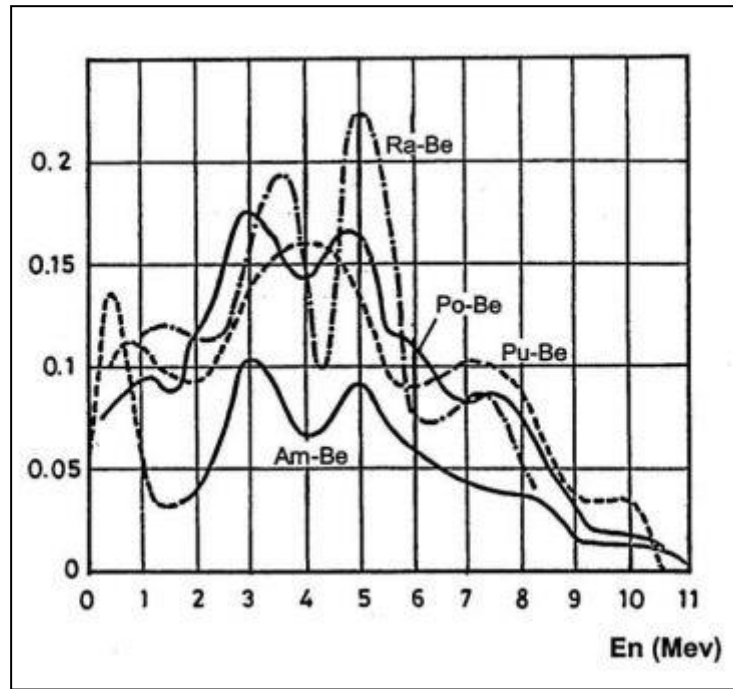
تنتج النيوترونات لغرض التطبيقات المفيدة لهذا الجسم من خلال تفاعلاته النووية. يمكن تقسيم إنتاج النيوترونات إلى ثلاث محاور: أولها عن طريق قذف بعض المواد الخفيفة بالإشعاعات الصادرة عن النشاط الإشعاعي، والثاني عن طريق معجلات الجسم المشحونة، والثالث عن طريق الانشطار النووي للعناصر الثقيلة. في هذه الحالة تكون النيوترونات المنتجة سريعة، وعند الحاجة إلى نيوترونات بطيئة أو حرارية يتم تهدئتها من خلال تعريضها إلى مواد خفيفة مثل الماء أو البرافين (الشمع) حيث تمتص هذه المواد طاقة النيوترونات شيئاً فشيئاً أثناء اصطدامها بنواة الذرة [11].

1-5-II المواد المشعة

تستعمل المواد المشعة التي تصدر أشعة ألفا البولونيوم مثل (Po) والراديوم (Ra) والبليوتونيوم (Pu) والأميريسيوم (Am) لإنتاج مصادر نيوترونية من خلال اصطدام الجسم ألفا بنوى بعض العناصر الخفيفة مثل البرون (B) والبريليوم (Be) والليثيوم (Li) وفق التفاعل (α, n) .

تصنع عادة هذه المصادر النيوترونية بخلط مسحوق المادة المشعة والمادة الخفيفة للحصول على خليط متجانس لزيادة كفاءة التفاعل، لان مدى الجسيمات الفا قصير جدا كما هو معروف. المادة الخفيفة الاكثر استعمالا هي البيريليوم، لان له كفاءة تفاعل عالية وتفاعله منتج للطاقة ايضا.

يوضح الشكل (3-II) طيف النيوترونات الناتجة لمختلف المصادر النيوترونية حسب نوعية المادة المشعة مع البيريليوم. نلاحظ ان اعلى طاقة للنيوترونات المنتجة تتراوح بين 13 mev و 10 mev وهذه الطاقة القصوى هي طاقة النيوترونات المنتجة اثناء التصادم الامامي. يفضل عادة استخدام المواد المشعة التي لها زمن نصف عمر طويل مثل الاميرسيوم والبليتونيوم لإنتاج هذه المصادر النيوترونية [11].



الشكل (3-II): اطياف النيوترونات الناتجة عن تفاعل جسيمات الفا والبيريليوم [1].

2-5-II المعجلات

تستخدم المعجلات احيانا لإنتاج حزم النيوترونات اللازمة لبعض الاغراض الطبية او غيرها الا ان هذه النيوترونات تكون عالية التكلفة. تنتج هذه النيوترونات عن طريق التفاعل (γ, n) لان اشعة غاما الناتجة من معجلات الالكترونات تفوق العتبة $(E_n > 6 \text{ MeV})$ في هذه الحالة. كذلك يتم انتاج النيوترونات في المعجلات عن طريق قذف الجسيمات المشحونة المعجلة على اهداف معينة من العناصر وفق التفاعل (P, n) و (d, n) . التفاعل الأول ماص للطاقة ولهذا يجب تعجيل البروتون لكسبه طاقة حركة تفوق عتبة التفاعل التي تتراوح بين حوالي 0.8 MeV و 4.0 MeV حسب الهدف. اما التفاعل الثاني (d, n) فهو منتج للطاقة ولا يحتاج نظريا الى طاقة حركة الا انها لازمة حتى ولو كانت قليلة لأغراض التحكم وتصويب الحزمة على الهدف. ان اهم مميزات حزم النيوترونات المنتجة عن طريق المعجلات ان لها فيض نيوتروني عالي جدا حوالي $10^{15} \text{ n/sec cm}^2$ مما يجعلها مفيدة جدا خاصة للأبحاث والعلاج الطبي [11].

II-5-3 انتاج النيوترونات الانشطارية

يتم انتاج مصادر للنيوترونات عن طريق الانشطار التلقائي لبعض النظائر الثقيلة الطبيعية مثل الثوريوم Th واليورانيوم U والنظائر الاصطناعية مثل الكيريوم Cm والكليفريوم Cf والفرميوم Fm. هذه النظائر لها خاصية انشطار تلقائيا، ومن خلال هذه العملية يتم انتاج النيوترونات. أكثر النظائر استعمالا هو نظير الكليفريوم ^{252}Cf الذي له نصف عمر طويل نسبيا حوالي 85.5 سنة وينتج كمية هائلة من النيوترونات حوالي 2×10^{12} نيوترون في الثانية لكل غرام من مادة الكليفريوم.

المصدر الثاني للنيوترونات الانشطارية هو المفاعلات النووية التي تنتج كميات كبيرة جدا من مختلف فئات النيوترونات. كذلك تتميز بشدة فيض نيوتروني عال يتراوح بين $10^{14} - 10^{12}$ نيوترون في الثانية وفي السنتيمتر المربع $(n/\text{sec. cm}^2)$ [1].

II-6 دورة حياة النيوترونات

تستعمل عبارة دورة حياة النيوترونات بسبب التشابه بين المجتمعات البيولوجية الحية التي تولد وتموت من خلال تفاعلات الانشطار وتنفى ايضا سواء بامتصاصها او تسربها خارج المفاعل. من الصعب معرفة عمر النيوترونات داخل المفاعل بدقة لكثرة الظروف المختلفة التي يتعرض لها النيوترون حيث انه ينتهي احيانا بعد مولده مباشرة مسببا انشطارا جديدا وأحيانا لا يحدث الانشطار الا بعد فترة التهدة. كما ان النيوترون يمكن ان تمتصه مواد غير انشطارية في أي لحظة ولا يحدث انشطارا، ويمكنه ان يتسرب خارج المفاعل في أي لحظة. وكذلك تاخذ بعين الاعتبار مقاطع التصادم لمختلف الانوية الموجودة في المفاعل. رغم هذا يمكن تتبع تطور مجموعة من النيوترونات وحساب دورة حياتها. وتمر دورة حياة النيوترونات بعدة مراحل من انتاجها وصولا الى احداثها للانشطار النووي وخلال هذه الدورة يتسرب عدد كبير من النيوترونات على فترات ومراحل متعددة. الرموز التالية تختصر مختلف المراحل التي تتسرب فيها النيوترونات. نستعمل لهذا الغرض التعريف العملي التالي لعامل التضاعف الذي يعتمد على موازنة اعداد النيوترونات [10].

ϵ : ويمثل معامل الانشطار السريع.

L_f : ويمثل نسبة النيوترونات السريعة المتسربة من المفاعل في مختلف اجزائه.

P : ويمثل نسبة النيوترونات الملتقطة من طرف ^{238}U .

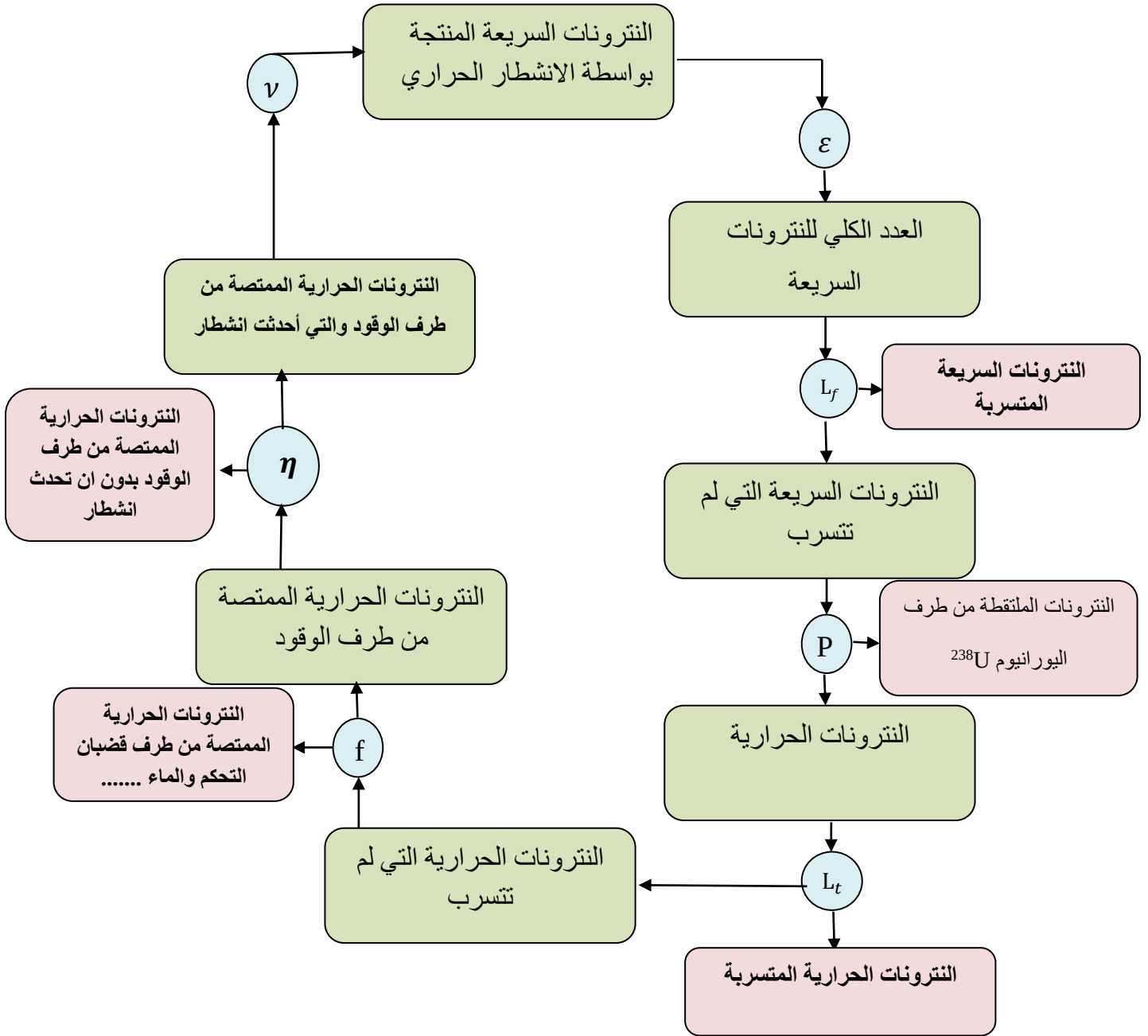
L_t : ويمثل نسبة النيوترونات الحرارية المتسربة.

f : ويمثل نسبة النيوترونات الحرارية الممتصة من الماء او قضبان التحكم... الخ.

η : ويرمز الى نسبة النيوترونات الممتصة من طرف الوقود والتي لم تحدث أي انشطار والتي نسبتها 1/5.

والمخطط التالي يوضح مختلف المراحل التي تمر بها نوترونات الجيل الواحد من مرحلة انتاجها وصولا الى احداثها انشطار نووي.

دورة حياة النيوترونات داخل المفاعل النووي



الشكل (4-II): دورة حياة النيوترون داخل المفاعل النووي [10].

1-6-II التعريف بمعاملات دورة حياة النوترونات

$$\varepsilon = \frac{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة المنتجة من الانشطار السريع و الحراري}}{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة المنتجة من الانشطار الحراري}}$$

$$L_f = \frac{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة التي لم تتسرب}}{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة المنتجة من الانشطار السريع و الحراري}}$$

$$p = \frac{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية}}{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة التي لم تتسرب}}$$

$$L_t = \frac{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية التي لم تتسرب}}{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية}}$$

$$f = \frac{\text{النوترونات الحرارية الممتصة من الوقود}}{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية التي لم تتسرب}}$$

$$\eta = \frac{\text{النوترونات الحرارية الممتصة من طرف الوقود و التي احدثت انشطار}}{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية الممتصة من الوقود}}$$

او

$$\eta = \frac{\text{العدد الكلي للنوترونات السريعة المنتجة من الانشطار الحراري}}{\text{العدد الكلي للنوترونات الحرارية الممتصة من الوقود}}$$

7-II عامل التضاعف K

ومن المفيد تعريف عامل التضاعف والذي يرمز له بالرمز k [10] وهو يمثل حاصل ضرب العوامل الستة لدورة حياة النوترون:

$$K = \varepsilon \eta p f L_f L_t \quad (7-II)$$

قانون معامل التضاعف الوارد أعلاه والذي يدعى بثابت العوامل الستة له معنى فيزيائي حيث يمثل:

$$K = \frac{\text{عدد النيوترونات في الجيل الحالي}}{\text{عدد النيوترونات في الجيل السابق}} \quad (8-II)$$

او

$$K = \frac{\text{عدد النيوترونات الانشطارية المنتجة}}{\text{عدد النيوترونات المتسربة} + \text{عدد النيوترونات الممتصة}} \quad (9-II)$$

$$K = \frac{n_1}{n_0} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_3}{n_2} \quad (10-II)$$

حيث N هو عدد النيوترونات في جيل واحد.

1-7-II عامل التضاعف الفعال k_{eff}

المفاعلات النووية كلها لها ابعاد منتهية مهما كانت كبيرة ولهذا فلا مفر من تسرب كمية من النيوترونات خارجها. تعتمد هذه الكمية من النيوترونات المتسربة اساسا على حجم المفاعل، فكلما صغر الحجم زاد التسرب. ولهذا يصبح من الصعب اهمال التسرب عند دراسة تضاعف النيوترونات [10,2,1]. وبما ان فقدان النيوترونات يحصل بعامل التضاعف الفعال الذي يمثل النسبة بين عدد النيوترونات المنتجة على عدد النيوترونات المفقودة وفق المعادلة التالية:

$$K = \frac{n_p}{n_l} = \frac{n_p}{n_A + n_{LK}} \quad (11-II)$$

حيث

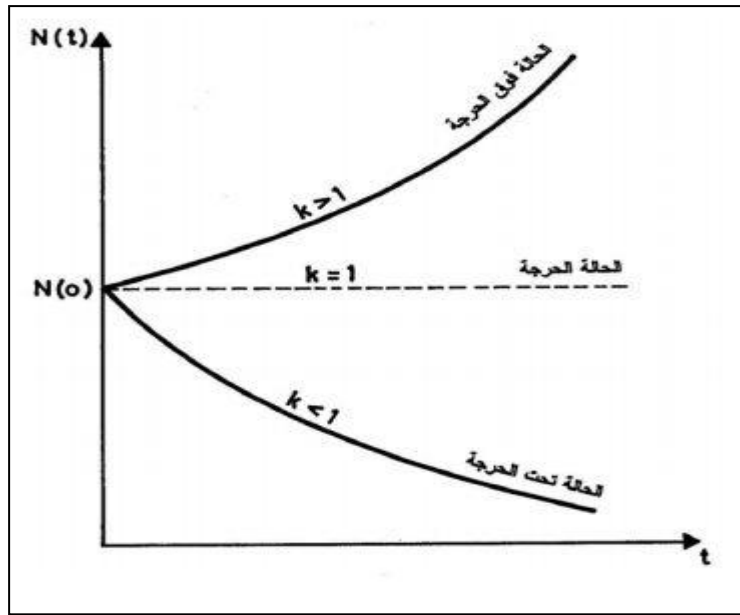
n_p = عدد النيوترونات الانشطارية المنتجة.

n_L = عدد النيوترونات المفقودة.

n_A = عدد النيوترونات الممتصة.

n_{LK} = عدد النيوترونات المتسربة.

إذا كان عامل التضاعف الفعال $k_{eff} = 1$ فهذا يعني ان عدد النيوترونات المنتجة يساوي عدد النيوترونات المفقودة بالامتصاص والتسرب معا، وهكذا يكون المفاعل في الحالة الحرجة. اما إذا تزايد عدد النيوترونات المنتجة مع الوقت عن عدد النيوترونات المفقودة يصبح عامل التضاعف الفعال $k_{eff} > 1$ وهي الحالة تحت الحرجة عندئذ يكون المفاعل في الحالة فوق الحرجة. والحالة الاخيرة الممكنة $k_{eff} < 1$ وهي الحالة تحت الحرجة التي تتميز بقلّة النيوترونات المنتجة مع الزمن عن عدد النيوترونات المفقودة مما يسبب توقف المفاعل بعد فترة معينة. هذه الحالات الثلاثة بناء الى ما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (II-5): تطور مجتمع النيوترونات وحالة المفاعل النووي [1].

II-7-2 عامل التضاعف اللانهائي

إذا افترضنا انه لدينا مفاعل كبير جدا الى ابعاد غير منتهية، فلا يمكن للنيوترونات ان تتسرب الى خارجه وهكذا تصبح نهايتها فقط عن طريق الامتصاص. يحدد نمو النيوترونات في هذه الحالة بما يسمى بعامل التضاعف اللانهائي K_{∞} الذي يعرف بانه النسبة بين عدد النيوترونات المنتجة الى عدد النيوترونات المفقودة بالامتصاص فقط [10].

وبالتالي قانون معامل التضاعف اللانهائي هو نفسه معامل التضاعف لكن مع أهمل معاملات التسرب حيث يصبح القانون كالتالي:

$$K = \epsilon \eta p f \quad (II-12)$$

II-8 معادلة النقل النتروني

من الأهداف الرئيسية لحساب المفاعلات هو تحديد عامل التضاعف الفعال وتوزيع التدفق، من خلال مقدار قادي يمكننا من خلاله حساب مقادير اخرى للمفاعل. ويتم ذلك من خلال دراسة ظاهرة نقل النيوترونات بواسطة معادلة النقل التي تتحكم في سلوك النيوترونات في قلب المفاعل.

ويستند إنشاء معادلة النقل على دراسة إحصائية لكثافة النيوترون. ويعود سبب استعمال الدراسة الاحصائية لعدد النيوترونات الكبير جدا. يجب أن تأخذ هذه الدراسة بعين الاعتبار جميع المعاملات واعتمادها وارتباطها بطاقة النترون، اتجاهه، موضعه، والزمن بالإضافة الى فرضيات اخرى تأخذ كذلك بعين الاعتبار خاصة:

✓ النيوترون يسلك سلوك الجسيمات الكلاسيكية.

✓ التفاعلات نيوترون - نيوترون مهمة: بما ان حجم التدفق في المفاعل النووي يتراوح ما بين 10^{11} الى 10^{16} (n/ (cm². S)) وهذا ايضا في حالة المفاعلات التي تعمل على تدفق عالي جدا، كثافة النيوترون هي أقل بكثير من كثافة الذرات وبالتالي يمكن أن نهمل التصادم نيوترون - نيوترون.

✓ المقاطع المجهرية الفعالة لا تتعلق بالزمن.

في الحالة العامة تكون معادلة النقل النيوتروني من سبع متغيرات: ثلاثة متغيرات في الفضاء ($\vec{r}$) ، متغيرين خاصين بالاتجاه ($\vec{\Omega} : \theta, \varphi$) ، متغير واحد خاص بالطاقة (E) ومتغير واحد خاص بالزمن (t) وقد تم وضع شكلين رئيسيين لمعادلة النقل. وهما الشكل التكاملي والشكل التفاضلي [20,2].

1-8-II الشكل التكاملي

يكتب في حالة السكون على الشكل [20]:

$$\phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = \int_0^\infty T(\vec{r}, \vec{r}', \vec{\Omega}, E) \int_{4\pi}^{\vec{\Omega}} [\Sigma_s(\vec{r}', \vec{\Omega}', E' \rightarrow \vec{\Omega}, E) \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}', E')] d\vec{\Omega}' dE' + S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \quad (13-II)$$

حيث

$S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$: تمثل مصادر النوترونات (نوترونات انشطارية - مصادر خارجية....).

$S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$: المقاطع الفعالة للنقل.

T : نواة النقل تعرف بالشكل التالي

$$T(\vec{r}, \vec{r}', \vec{\Omega}, E) = \exp[-\int_0^\infty \Sigma_t(\vec{r} - s\vec{\Omega}, E) ds] \quad (14-II)$$

$\Sigma_t(\vec{r}, E)$: المقطع الفعال الكلي.

$E_c = 20 \text{ Mev}$ بالنسبة للمفاعلات الانشطارية.

2-8-II الشكل التكاملي التفاضلي

يكتب في حالة السكون على الشكل [20]:

$$\vec{\Omega} \nabla \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) + \Sigma_t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = \int_0^{Ec} \int_{4\pi} \Sigma_s(\vec{r}', \vec{\Omega}', E' \rightarrow \vec{\Omega}, E) \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}', E') d\Omega' dE' + S(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \quad (15-II)$$

الحل التحليلي لمعادلة بولترمان لا يجدي في الحالات الطيفية. لذلك استعملت تقريبات عديدة مختلفة لإيجاد حلول، وهناك ثلاث فئات رئيسية:

- ✓ تقريب يرتكز على تقنية النشر.
- ✓ تقريب يرتكز على تقنية النقل.
- ✓ تقريب يرتكز على تقنية مونت كارلو.

9-II طريقة النشر

هذه الطريقة هي الأكثر استعمالاً في الحساب العام في القلب المتجانس. لأنه يعتمد على الشكل التفاضلي من معادلة بولترمان السابقة نقوم بالمكاملة على جميع الاتجاهات Ω فنجد [2]:

$$\text{div} \vec{j}(\vec{r}, E) + \Sigma_t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) = \int_0^{Ec} \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi(\vec{r}, E) dE' + S(\vec{r}, E) \quad (16-II)$$

حيث

$\vec{j}(\vec{r}, E)$: تمثل التيار النيوتروني ويكتب على الشكل:

$$\vec{j}(\vec{r}, E) = \int_{4\pi} \vec{\Omega} \nabla \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) d\vec{\Omega} \quad (17-II)$$

في تقريبات الانشطار نستعمل قانون fick لكتابة التيار $\vec{j}(\vec{r}, E)$ بدلالة التدفق $\phi(\vec{r}, E)$ أي:

$$\vec{j}(\vec{r}, E) = -D(\vec{r}, E) \overrightarrow{\text{grad}} \phi(\vec{r}, E) \quad (18-II)$$

حيث

$D(\vec{r}, E)$: يمثل معامل الانشطار في نقطة r وطاقة E .

في الحالة التي نعتبر فيها ان المصدر مركب فقط من مصدر الانشطار، معادلة بولتزمان في تقريبات الانشطار غالبا ما تكتب على الشكل التالي:

$$-\text{div} D(\vec{r}, E) \overrightarrow{\text{grad}} \phi(\vec{r}, E) + \Sigma_t(\vec{r}, E) \phi(\vec{r}, E) = \int_0^{E_c} \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \phi(\vec{r}, E') dE' + \frac{\chi(E)}{K_{eff}} \int_0^{E_c} \nu(E') \Sigma_f(\vec{r}, E') \phi(\vec{r}, E') dE' \quad (19-II)$$

حيث

$\chi(E)$: طيف انشطار النيوترون.

$\nu(E)$: عدد النيوترونات المنتجة من الانشطار التي لها طاقة E.

$\Sigma_f(\vec{r}, E)$: المقطع الفعال للانشطار في المكان r والطاقة E.

K_{eff} : عامل التضاعف الفعال.

المعادلة السابقة (19-II) هي معادلة انشطار نيوترون [20,2].

1-9-II تشكيل معادلة الانشطار متعددة المجموعات

في هذه الطريقة يتم تقسيم طاقات النيوترونات إلى عدد من المجموعات. يتم التعامل مع النيوترونات من كل مجموعة كأنها جملة واحدة والتفاعلات التي تخضع ل (انشطار، امتصاص... الخ) توصف بالمعامل المتوسط للانشطار وهذا الاخير يسمى ثابت المجموعة. لإيجاد الصيغ المتعددة للمعادلة نعرف المصطلحات التالية [2]:

تدفق النيوترونات الخاصة بالمجموعة g:

$$\Phi^g(\vec{r}) = \int_{E_g}^{E_{g-1}} \Phi(\vec{r}, E) dE \quad (20-II)$$

مؤشر الانتشار

$$-\text{div} D^g(\vec{r}) \overrightarrow{\text{grad}} \Phi^g(\vec{r}) = \int_{E_g}^{E_{g-1}} -\text{div} D(\vec{r}, E) \overrightarrow{\text{grad}} \Phi(\vec{r}, E) dE \quad (21-II)$$

يحسب ثابت المجموعة بالعلاقة التالية:

$$C^g(\vec{r}) = \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} C(\vec{r}, E) \Phi(\vec{r}, E) dE}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} \Phi(\vec{r}, E) dE} \quad (22-II)$$

حيث: C^g تقريبا هي Σ_s^g او Σ_a^g او $\nu\Sigma_f^g$.

معامل الانشطار $D^g(r)$ يعطى بالعلاقة التالية:

$$D^g(r) = \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} D(\vec{r}, E) \overrightarrow{\text{grad}} \phi(\vec{r}, E) dE}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} \overrightarrow{\text{grad}} \phi(\vec{r}, E) dE} \quad (23-II)$$

اذن عندما نكامل على الطاقة نجد:

$$\int_0^{E_c} \int \Sigma_s(\vec{r}, E' \rightarrow E) \Phi(\vec{r}, E') dE' dE = \sum_{g'=1}^G \Sigma_s^{g' \rightarrow g}(\vec{r}) \Phi^{g'}(\vec{r}) \quad (24-II)$$

$$\int_{E_g} \frac{\chi(E)}{K_{eff}} \int_0^{E_c} \nu \Sigma_f(\vec{r}, E') \phi(\vec{r}, E') dE' dE = \frac{\chi^g}{K_{eff}} \sum_{g'=1}^G (\nu \Sigma_f^{g'})(\vec{r}) \Phi^{g'}(\vec{r}) \quad (25-II)$$

نضرب المعادلة (19-II) في dE ، ثم نكامل على المجموعة g ونعوض في المعادلتين (20-II) و (25-II) لنحصل على معادلة الانشطار متعددة المجموعات التالية:

$$\begin{aligned} -\text{div } D^g(\vec{r}) \overrightarrow{\text{grad}} \Phi^g(\vec{r}) + \Sigma_a^g(\vec{r}) \Phi^g(\vec{r}) + \left(\sum_{g' \neq g}^G \Sigma_s^{g' \rightarrow g}(\vec{r}) \right) \Phi^g(\vec{r}) = \\ = \sum_{g' \neq g}^G \Sigma_s^{g' \rightarrow g}(\vec{r}) \Phi^{g'}(\vec{r}) + \frac{\chi^g}{K_{eff}} \sum_{g'=1}^G (\nu \Sigma_f^{g'})(\vec{r}) \Phi^{g'}(\vec{r}) \quad g=1, 2, \dots, G \end{aligned} \quad (26-II)$$

2-9-II الحلول العددية لمعادلة الانشطار متعددة المجموعات

المعادلة (26-II) لديه علاقة مباشرة مع المتغيرات الثلاثة للفضاء بالإضافة إلى متغير الطاقة. كما يعتبر التغيير في المقطع العرضي مع الموقع r معقد للغاية لأن معظم المفاعلات ليس لديها بنية متجانسة وعدم تجانس القلب يرجع إلى وجود من مواد مختلفة. كما يعتبر الاعتماد على متغير الطاقة معقدة للغاية، وخاصة في المنطقة التي تظهر المقاطع الفعالة أي قمم التوتّر.

مع وجود بعض الحالات البسيطة والواقعية، فإنه ليس من الممكن ايجاد حل تحليلي لمعادلة الانتشار. لذلك نلجأ إلى استخدام شكل منهجية الطرق العددية التي تحول المعادلة (25-II) إلى معادلات سهلة الحل على

جهاز الكمبيوتر .وتستخدم تقنية الفروق المحدود أو العناصر المحددة في الحساب الشامل لقلب المفاعل النووي.

باستخدام برنامج CITATION ، نبسط المعادلة باستخدام طريقة الفروق المحدودة.

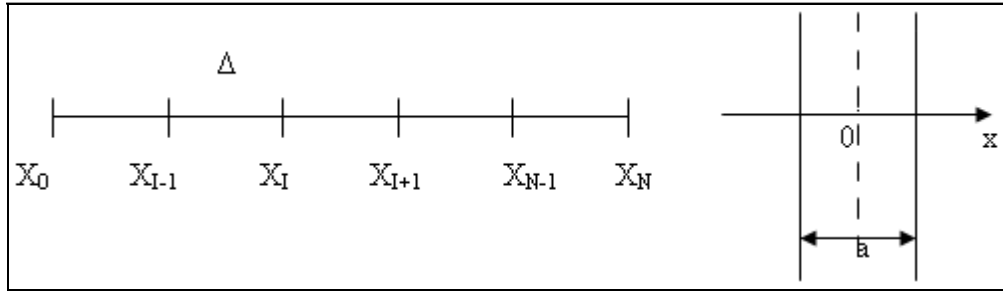
ولتوضيح هذه الطريقة في الحالة العادية في مفاعل صفائحي في بعد واحد ولمجموعة واحدة من الطاقة. معادلة الانشطار تكتب كالآتي[2].

$$-D \left[d^2 \frac{\Phi}{dx^2} \right] + \sum_a \Phi(x) = \frac{1}{K_{eff}} \nu \sum_f \Phi(x) \quad (27-II)$$

نقوم بتقسيم المتغير X الى N مجال مساوية للسبك Δ كما هو موضح في الشكل الآتي:

$$\Delta = a/N$$

حيث a هو سمك الصفیحة



الشكل (6-II): رسم توضيحي لعملية التقسيم.

سمح لنا نشر تايلور للتدفق Φ_{I+1} و التدفق Φ_{I-1} بالحصول على:

$$\Phi_{I+1} = \Phi(x_{I+1}) = \Phi_I + \Delta \left[d\Phi/dx \right]_I + \frac{\Delta^2}{2} \left[d^2\Phi/dx^2 \right]_I + \dots \quad (28-II)$$

$$\Phi_{I-1} = \Phi(x_{I-1}) = \Phi_I + \Delta \left[d\Phi/dx \right]_I + \frac{\Delta^2}{2} \left[d^2\Phi/dx^2 \right]_I + \dots \quad (29-II)$$

من أجل Δ صغير جداً، تصبح المعادلة من الشكل:

$$\left[-D/\Delta^2 \right] \Phi_{I-1} + \left[(2D/\Delta^2) + \Sigma_a \right] \Phi_I - \left[D/\Delta^2 \right] \Phi_{I+1} = S_I \quad (30-II)$$

أو

$$S_I = \frac{1}{K_{eff}} \nu \sum_f \Phi_I \quad (31-II)$$

نفرض أن:

$$a_{I,I-1} = -D/\Delta^2, \quad a_{I,I} = (2D/\Delta^2) + \Sigma_a, \quad a_{I,I+1} = a_{I,I-1} \quad (32-II)$$

نحصل على

$$a_{I,I-1}\Phi_{I-1} + a_{I,I}\Phi_I + a_{I,I+1}\Phi_{I+1} = S_I, \quad I=1, 2, \dots, N-1 \quad (33-II)$$

اذن

$$\begin{aligned} a_{11}\Phi_1 + a_{12}\Phi_2 &= S_1 \\ a_{21}\Phi_1 + a_{22}\Phi_2 + a_{23}\Phi_3 &= S_2 \\ a_{32}\Phi_2 + a_{33}\Phi_3 + a_{34}\Phi_4 &= S_3 \\ &\bullet \\ &\bullet \\ a_{N-1,N-2}\Phi_{N-2} + a_{N-1,N-1}\Phi_{N-1} &= S_{N-1} \end{aligned}$$

النظام المذكور اعلاه يكتب عموما على الشكل المصفوفي التالي:

$$M\Phi = \left(\frac{1}{K_{eff}} \right) F\Phi \quad (34-II)$$

حيث M و F هما مصفوفتان مربعتان لها $(N-1)$ سطر و $(N-1)$ عمود، Φ هي اشعة الأعمدة. عموما يتم حل هذه المعادلة من خلال استخدام طريقة تكرارية على أساس عملية التكرار الداخلي-الخارجي. هذه الطريقة التكرارية تعطي المزيد من المتجهات الذاتية (Φ تدفق)، والقيمة الذاتية (عامل الضرب الفعال).

عمليا نبدأ عن طريق تعيين القيمة الأولية $\Phi^{(0)}$ في مصدر الانشطار والقيمة الأولية K_{eff}^0 لعامل الضرب الفعال ثم نحدد اشعة التدفق Φ من خلال العملية التكرارية التالية:

$$\Phi^{(n+1)} = M^{-1} \frac{1}{K_{eff}^{(n)}} F\Phi^{(n)} \quad (35-II)$$

M^{-1} تمثل مقلوب المصفوفة M .

بعد الحصول على التدفق $\Phi^{(n+1)}$ يمكننا الحصول على تقدير جديد $F\Phi^{(n)}$ لمصدر الانشطار. بالإضافة الى عامل التضاعف الفاعل $K_{eff}^{(n+1)}$ انطلاقا من $K_{eff}^{(n)}$. ويمكننا استخدام عدة مخططات لاجاد عامل التضاعف [20].

من المخططات الأكثر استعمالا هو استعمال الجداء السلمي لأشعة مصدر الانشطار $F\Phi^{(n+1)}$ مع المعادلة (35-IV) فنحصل على:

$$K_{eff}^{(n+1)} = K_{eff}^{(n)} \frac{(F\Phi^{(n+1)}, F\Phi^{(n+1)})}{(F\Phi^{(n)}, F\Phi^{(n+1)})} \quad (36-II)$$

الفصل الثالث

حساب الخلية

وحساب القلب

III الفصل حساب الخلية وحساب القلب

1-IV مقدمة

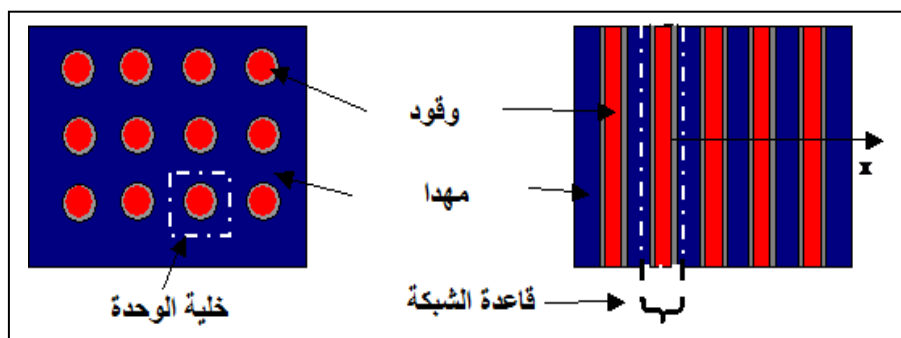
غالباً ما تجرى الحسابات التصميمية النثرورية لمفاعلات الأبحاث بالاعتماد على كودات (برامج) نثرورية تعتمد طريقة الإنتشار أو الانتثار، وأخرى تعتمد مبدأ الإحصاء. والسبب في ذلك تاريخي لحد ما ويرتبط بتطور الحواسيب من جهة والدقة المتوخاة في الحل (المرحلة التصميمية للحسابات) من جهة أخرى. يتحدث هذا الفصل عن مرحلة التصميم الهندسي للمفاعل وحساب النواتج والمقادير الفيزيائية بواسطة هذه البرامج والطرق المتبعة في الحساب.

2-III شبكة المفاعل

في المفاعلات الحرارية، يتم وضع الوقود في خانات أو صفائح مفصولة بمواد مثل الجرافيت أو الماء الثقيل أو الخفيف، حيث يتم إبطاء حركة النيوترونات وتحويل طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية مع حد أدنى من الالتقاط. الوقود مغلف بغمد يفصل بين مياه التبريد وبين نواتج الانشطار الحراري للبحث عن الاستطاعة وتتم هذه العملية بنفس الطريقة بالنسبة لكل مفاعل [2].

1-2-III مفهوم وحدة الخلية

يتم ترتيب الوقود على اساس منتظم: يتم ترتيب قضبان الوقود الاسطوانية في قاع القلب، على شكل سداسي او حلقي اما صفائح الوقود في حزم متوازية.



الشكل (1-III): مقطع عرضي افقي لوحدة الخلية ومقطع عرضي عمودي لشبكة المفاعل [2].

وتحاط وحدات الوقود بوسيط (قد يكون هذا الوسيط مبرد) وتتموضع كلها على شكل شبكة في المفاعل، في المرحلة الاولى من حسابات المفاعل نفرض انها نهائية.

في أي نوع من شبكة المفاعل يمكننا تعيين الاجزاء المتكررة والتي يكون الوقود جزء منها محاط بالمهدأ. صفائح او قضبان الوقود مع المهدأ المحيط بها يشكلون ما يسمى وحدة خلية كما هو مبين في الشكل (1-III).

شكل وحدة الخلية يعتمد على نوع المفاعل، على سبيل المثال وحدة خلية نموذجية من مفاعل نوع PWR هو مربع مع قضيب وقود أسطواني في وسطها (1-III)، نوع وحدة الخلية MTR (في حالة مفاعل NUR) هو لوحة الوقود مغلقة على كلا الجانبين، ويحيط بها الماء. وتظهر أشكال نموذجية من وحدات الخلايا كما هي مبينة في الشكل (2-III).



الشكل (2-III): مخططات وحدات مختلفة من الخلايا [21].

في مفهوم وحدة الخلية التي يفترض ان هذه الخلية هي جزء متكرر من شبكة مفاعل كبير، وفي هذه الحالة يمكن فرضها على انها معدومة او في حدود الصفر.

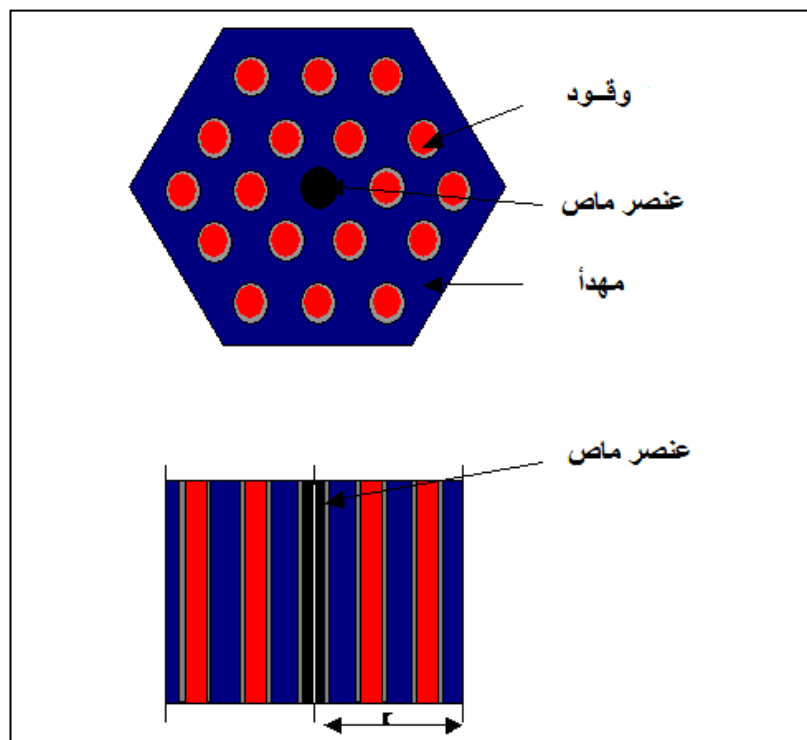
في مفهوم وحدة خلية مستوية، يفترض عادة أن الصفائح لا حصر لها في الاتجاهين Y و Z ، وهذا ما يجعل مشكلة حل معادلة النقل تؤول الى مسالة ذات بعد واحد مع شروط حدود تدفق ثابتة (أو تيار معدوم).

لنفترض أن وحدة الخلية اسطوانية، وان الخلية لا نهائية في الاتجاه العمودي، وهذا ايضا يعيد معادلة النقل لمسالة ذات بعد واحد في الهندسة الاسطوانية [2].

2-2-III تعريف خلية الماكرو

وحدات الوقود أو الخلايا ليست وحدها كحالة عدم التجانس في قلب المفاعل. ففي مفاعلات الطاقة والبحث، وحدات الوقود تكون مدمجة في مجمعات او في عناصر الوقود. ولا يزال من الممكن النظر الى عناصر الوقود كما يجري تموضعها في شبكة لانهائية.

الصعوبة الحقيقية تتعلق بوجود عناصر التحكم (لوحات أو قضبان) تكون ماصة للغاية. في مفاعلات البحوث بجانب عناصر تحكم توجد أنواع لا تجانس أخرى مثل صناديق الأشعة، غرف الانشطار ... الخ. لمعالجة الأنواع المختلفة من الخلايا المتجانسة نقوم بإدخال مفهوم خلية الماكرو. وتتكون خلية الماكرو عموما من ثلاثة وسائط أو أكثر (كما هو الحال بالنسبة للخلية الابتدائية). وتظهر أشكال من أنواع خلايا الماكرو في الشكل (3-III) [2].



الشكل (3-III): انواع مختلفة من خلية الماكرو [2].

3-2-III طرق حساب المفاعل

يتم تطبيق هذا النهج في حسابات المفاعل ويكون أولاً حل لمعادلة نقل النيوترونات إلى خلية وحدة أو خلية الماكرو، ثم نستخدم النتائج التي تم الحصول عليها في الخطوة الثانية من خلال حل معادلة تشتت النيوترونات لتحديد الاعدادات في كامل القلب.

عموماً يتم حل معادلة نقل النيوترون لحساب الخلية باستخدام طريقة S_n أو طريقة الاحتمالات التصادم. ويتم هذا الحساب باستخدام برنامج اعلام ألي مثل: LEOPARD, THERMOS, WIMS... الخ. وفي حساب الخطوة الثانية قد يتم ادخال المفاعل بأكمله أو جزء منه، ونستخدم تقريب النشر المتقطع باستخدام تقنية الفروق المحدودة. ومن بين برامج الحساب التي يمكن استخدامها في المرحلة الثانية نشير الى CITATION.

3-III برامج الحساب

برنامج حساب المفاعل هو برنامج اعلام الي حيث نستخدمه لحساب عدد معين من الكميات نذكر منها تدفق النيوترون وعامل تضاعف الوسط، هذه الوسط قد تكون خلية أو خلية الماكرو او كامل مفاعل. في مجال تدفق النيوترون لديه علاقة مستمرة مع الفضاء والطاقة والوقت.

يتم حل معادلات النقل والتوزيع عددياً بإزالة الطاقة عن طريق تقنية المجموعات المتعددة، والفضاء بشكل عام بواسطة تقنية الفروق المحدودة.

III-2-1 البرنامج WIMSD4

تم تطوير هذا البرنامج في مخبر Winfrith البريطاني يوزع هذا البرنامج بشكل مجاني من البنك الدولي للمعطيات NEA DATA BANK لكل من يطلبه من كافة انحاء العالم. لذلك يعد هذا البرنامج من أكثر البرامج انتشاراً في العالم وخاصة في دول البلدان النامية. ويستخدم في حسابات الخلية وفي حساب عامل التضاعف اللانهائي للمفاعل وحسابات الاحتراق. يحتوي البرنامج على مكتبة نووية تضم معظم المقاطع العرضية للعناصر الداخلة في تركيب المفاعلات باستخدام 69 مجموعة طاقة تغطي هذه المجموعات الطاقة الطيف الطاقى للنيوترونات المجال السريع والرنيني والحراري. تعتبر مكتبة المعطيات النووية النيوترونية UKNDL المرجع الرئيسي لمكتبة البرنامج WIMSD4. ويستطيع المستثمر تكثيف المجموعات ال 69 الى عدد اقل من المجموعات يصل الى مجموعتين كحد ادنى [22]. من الصفات العامة لبرنامج WIMSD4:

✓ يمكن ان يكون الشكل الهندسي للخلية الواحدية بأشكال متعددة مثل: الشريحة الاسطوانة الكرة

و عنقود من الخلايا المتجاورة. CLUSTERS.

✓ يمكن التحكم بحرية في عدد المجموعات السريعة والرنينية والحرارية.

✓ يمكن تكثيف المجموعات ال 69 لعدد اقل من المجموعات.

✓ يعطي البرنامج مجموعتين من المقاطع العرضية للخلية المدوسة، المجموعة الغير المصححة

والمجموعة المصححة باحتمال هروب النيوترونات وهي الادق .

✓ يولد البرنامج نتيجة للحساب : معامل الانتثار للخلية D والمقطع الفعال للامتصاص Σ والمقطع

الفعال للانشتطار مضروباً بعدد النيوترونات الناتجة عن الانشتطار $\nu \Sigma$.

يتم ادخال الكثافات الذرية للمنطقة المدروسة في الخلية الواحدية باستخدام البرنامج WIMSD4 بطريقتين :

✓ ادخال الكثافات الذرية بوحدة $atoms/b.cm$ بعد حساب الكثافات الذرية لكافة المكونات بوحدة

$atoms/cm^3$.

✓ ادخال كثافة المنطقة المدروسة والنسبة المئوية الوزنية لكافة مكوناتها.

يعتمد البرنامج WIMSD4 على الحل المباشر لمعادلة انتقال النيوترونات باستخدام 69 مجموعة طاقة بأشكال هندسية مختلفة للخلية الواحدية. كما يتم حل معادلة الانتقال بخيارين رئيسيين هما: طريقة S_n وطريقة P_{ij} [12].

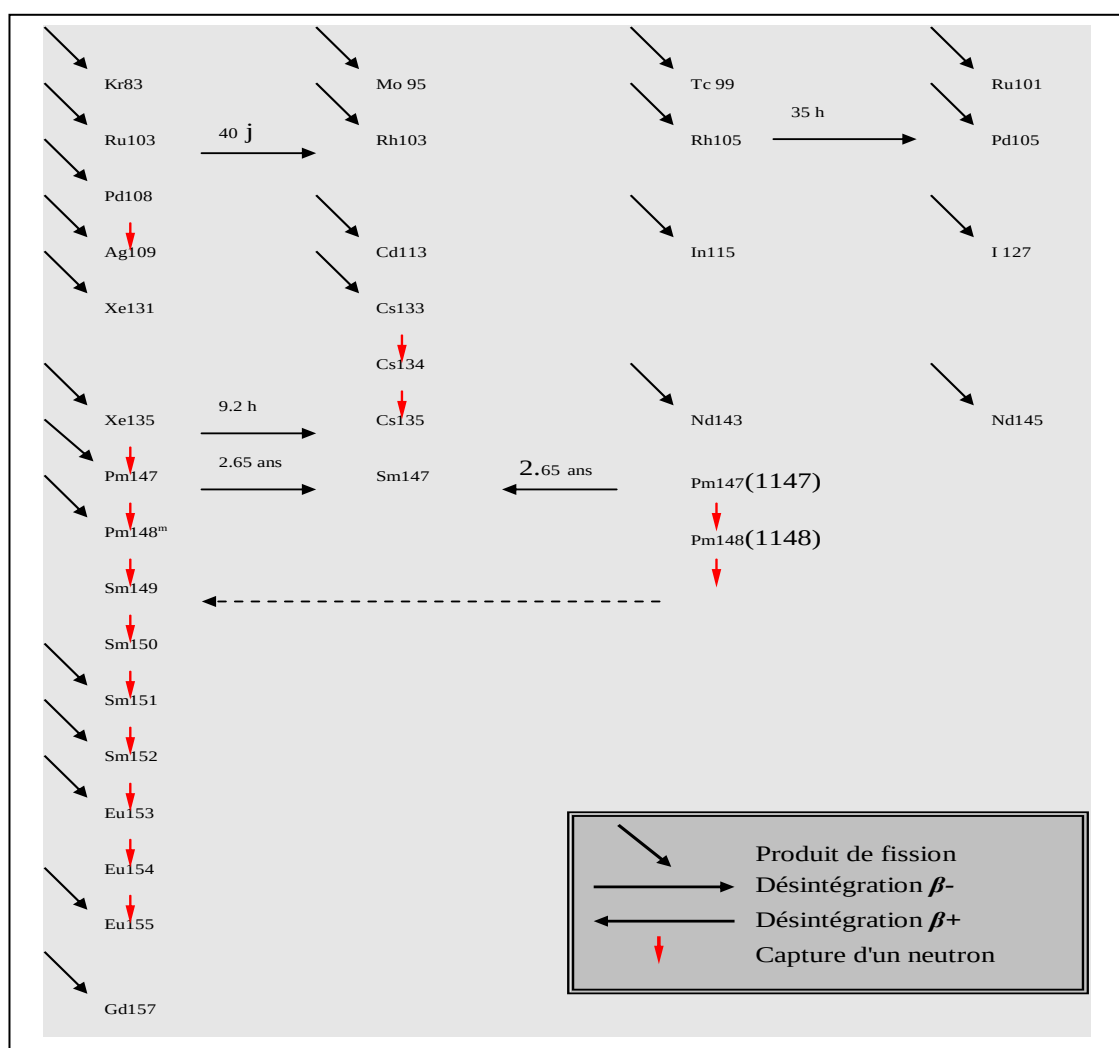
تعتمد طريقة S_n على الحل العددي لمعادلة انتقال النيوترونات التقاضلية التكاملية وتعتمد الطريقة الثانية على الحل العددي لمعادلة انتقال النيوترونات التكاملية.

تجزأ الخلية الى عدة مناطق وتتجزأ كل منطقة الى مجموعة من الخلايا. تحدد لاحقا المواد المشكلة لكل منطقة بالإضافة الى درجة الحرارة التي يتم عندها الحساب.

اخيرا تحدد عدد المجموعات المختزلة التي يتم فيها اختزال المجموعات الطاقية التي يبلغ عددها 69 الى عدد اقل من المجموعات تتراوح من 2 الى 6 مجموعات طاقية. يستطيع البرنامج WIMSD4 توليد المقاطع العرضية الفعالة لخلية وقود متجانسة او خلية وقود عملاقة تكون على شكل عنقود من الخلايا المتجاورة . CLUSTERS

III-1-3-1 الخصائص العامة لمكتبة الـ WIMSD/4

يتم تصنيف المكتبة القياسية الحالية التي توزع مع WIMSD / 4 إلى بنية من 69 مجموعة مع 14 مجموعة سريعة و 13 مجموعة للرنين و 42 مجموعة حرارية. تحتوي المكتبة على بيانات لمجموعة واسعة من النكليات مفيدة عمليا في المفاعلات والتحليلات التجريبية للمواقع [13].

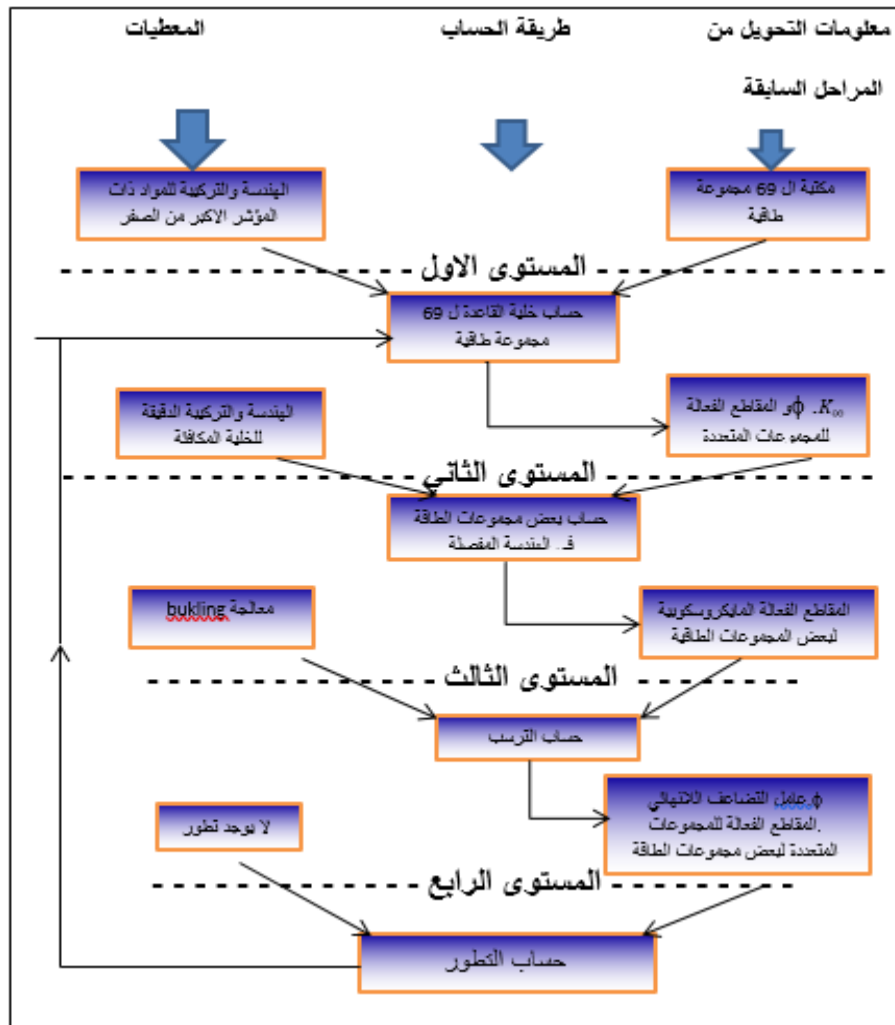


الشكل (III-4): سلاسل من نواتج الانشطار في مكتبة WIMS.

بالإضافة الى نواتج الانشطار يوجد في المكتبة ايضا كل من: زمن الالتقاط، ثابت التفكك، الطاقة المحررة من الانشطار، معطيات كل نوية انشطار، بيانات 33 من منتجات الانشطار واشباه الانشطار، وتوضح سلاسل الانشطار في الشكل (III-4).

III-3-1-2 الحساب الابتدائي للنقل في WIMSD/4

في هذه المرحلة يتم الحصول على حل معادلة النقل مع تمثيل مبسط للطاقة (تكثيف مجموعة قليلة)، وتفصيل التمثيل الفضائي. الشكل التالي (III-5) يظهر بياناً مراحل الحساب المنفذة من قبل برنامج WIMSD/4 [2].



الشكل (III-5): مخطط موجز للخطوات التي يقوم بها WIMSD / 4 [2].

III-3-1-3 النمذج الهندسية

هناك نماذج هندسية كثيرة لدراسة الفضاء متاحة في برنامج WIMSD/4:

- ✓ النموذج المتجانس الذي يمثل وسط متجانس بسيط. يتم تعريفه من قبل بطاقة الإدخال: CELL-4
- ✓ نموذج "pin.cell": والذي يمثل شبكة لا حصر لها من الخلايا المتطابقة. يتم تعريفه من قبل بطاقة الإدخال CELL-6.
- ✓ نموذج 'cluster' يمثل تجمع الوقود أو قضبان أو صفائح من عناصر الوقود. يتم تعريفه من قبل بطاقة CELL-7.

✓ نموذج متعددة الخلايا الذي يمثل مجموعة من أنواع مختلفة من الخلايا متصلة مع الخطوط المعرفة من حيث احتمال ترك النيوترون لخلية والانضمام لأخرى.

III-3-1-4 الطرق العددية

من أجل الطرق العددية، WIMS / D4 يسمح بختيار أربعة بدائل [2]:

✓ DSN ، وهو يقوم بحل معادلة النقل المعطاة بالشكل التفاضلي بطريقة كارلسون - S_n من أجل الشكل الهندسي أو الصفائحي لا نهائية. وهي قابلة للتطبيق في نموذج "smeared-annuli-cluster" "pincell" في تقريب ل-4 S ويتم تعريفه من قبل بطاقة الإدخال SEQUENCE-1.

✓ PERSEUS وهو يقوم بحل معادلة النقل المعطاة بالشكل التفاضلي في بعد واحد باستخدام طريقة احتمال التصادم. ويمكن أن يطبق على جميع الانظمة الفضائية المتاحة. يتم تعريفه من قبل بطاقة SEQUENCE-2. يعرف هذا النوع بكونه سريع جدا لكن دقته غير مضبوطة.

✓ PERSEUS ويستخدم لنماذج "cluster" مع حل واضح لمعادلة النقل في هندسة البعدين (r, θ) ، مع إمكانية حد مربع لخلية الماكرو.

✓ PRIZE- PERSEUS يدعم العمليات الحسابية (r, z) ، مع إمكانية أن تأخذ في الاعتبار الانتظام المحوري في قضبان الوقود.

III-3-2 برنامج حساب القلب CITVAP

تتم حسابات القلب باستخدام البرنامج CITVAP [14] المستمدة من البرنامج CITATION [15]، وهو عبارة عن برنامج حساب يستخدم لحل معادلة الانشطار للمجموعات المتعددة أو متعددة الأبعاد.

III-3-2-1 النموذج النيوتروني

ويستند النموذج النيوتروني الى البرنامج CITVAP على الافتراضات التالية:

- ✓ تقريب انتشار المجموعات المتعددة.
- ✓ النقل النيوتروني ينظم بين جميع مجموعات الطاقة.
- يقوم بحل مشكلة القيمة الذاتية لتحديد عامل التضاعف الفعال، كما يقوم ايضا بتحديد نواتج الانشطار في الوقود. يستخدم الهندسة المتعددة الابعاد. ويستخدم نظرية المجموعات المتعددة لتقريب الطاقة المتغيرة. لتقريب المتغيرات الفضائية يقوم باستخدام نظرية الفروق المحدودة.

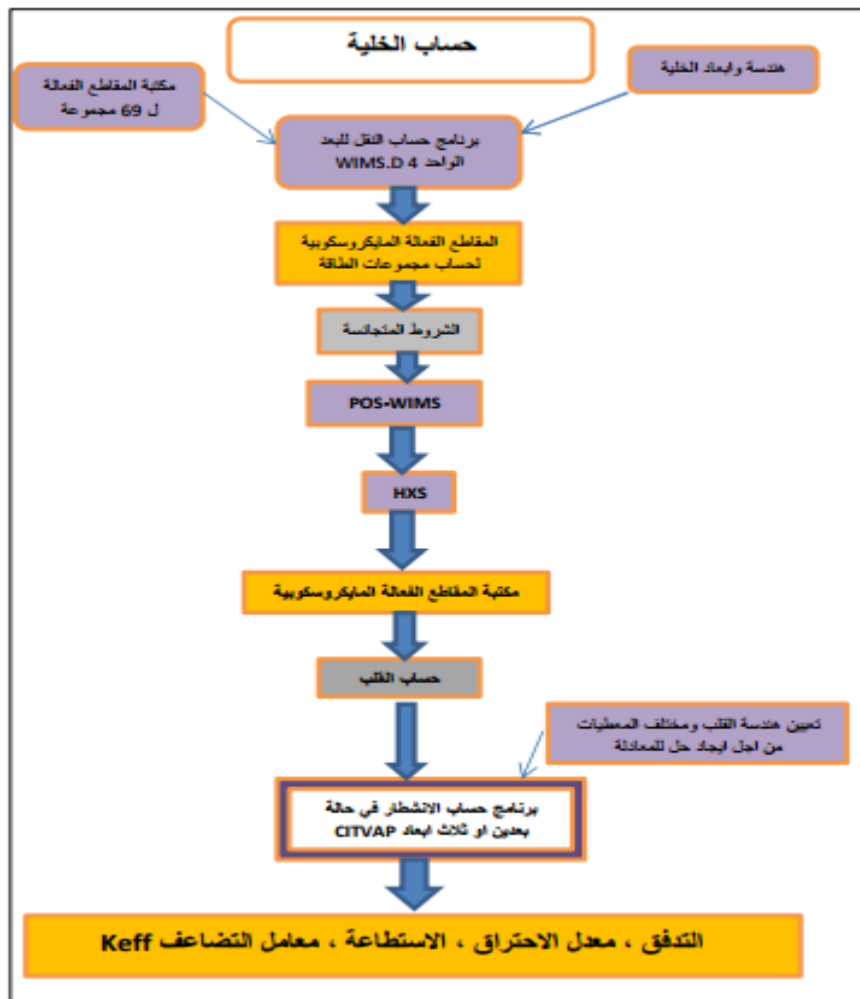
III-3-2-2 هيكل مدخل برنامج CITVAP (INPUT)

يتم تقسيم المداخل من تعليمات البرنامج CITVAP إلى أقسام حسب نوع البيانات. هذه التنظيمات تسمح لنا بالدخول فقط الى الأقسام اللازمة لحساب محدد على وجه الخصوص [2].

- من أجل حل أي مشكلة يجب استخدام الأقسام التالية:
- ✓ نخصص لهذه المشكلة ورقتين باعتبارها المدخل إلى ملف الإدخال والأقسام 001، 003، 004،
 - 005، 012، 020 و 008 (إذا كانت المقاطع الفعالة الميكروسكوبية أو المايكروسكوبية مستخدمة)،
 - أما المقاطع الأخرى فيتم إدخالها بالاختيار.
 - ✓ المقاطع الفعالة التي تم الحصول عليها مسبقاً (من خلال عملية حسابية 4 / WIMSD) سوف تستخدم في برنامج الانتشار بعد نمذجة هندسة القلب مع كل التفاصيل التي تحتاج إليها.

III-3-2-3 برنامج الإخراج CITVAP

كنتيجة لحساب CITVAP نحدد عامل الضرب الفعال K_{eff} ، وتوزيعات التدفق والاستطاعة، ومعدل احتراق الوقود (burn-up)، المعاملات الحركية (λ, β) . الشكل التالي يمثل المخطط من خطوتين متداخلتين في حساب تصميم قلب، وهما حساب الخلية وحساب القلب، دمج خدمات التواصل مثل [16] POS_WIMS [17] HXS.



الشكل (III-6): مخطط لمراحل حساب قلب المفاعل [2].

III-4 الحساب النيوتروني في مفاعل NUR

ان حساب تطور ومعرفة توزيعات التدفق النيوتروني والاستطاعة النيوترونية من خلال قلب المفاعل يتطلب خطوتين: (1) حساب داخلي (أو حساب الخلية) و(2) حساب عام (أو حساب القلب).

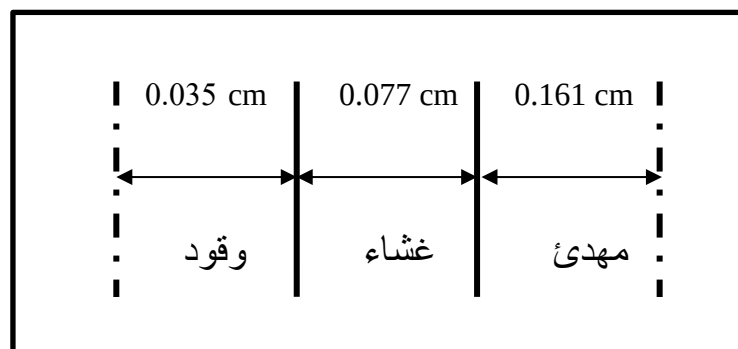
III-4-1 حسابات الخلايا

وقد تم تنفيذ سلسلة من حسابات الخلية لأنواع مختلفة من خلايا مفاعل [18] NUR. خيار احتمال التصادم [SEQUENCE=2] لبرنامج WIMS تم استخدامه في جميع الحسابات. في مجال الطاقة تم استخدام 69 مجموعة في الحسابات الاحصائية و68 مجموعة في حسابات التطور.

قلب المفاعل NUR يتضمن نوعين من عناصر الوقود: عناصر الوقود القياسية (SFE)، وعناصر التحكم (CFE). تتكون قضبان الوقود الثابتة SFE من 19 صفيحة وقود في حين ان عناصر التحكم CFE تتكون فقط من 14 صفيحة وقود.

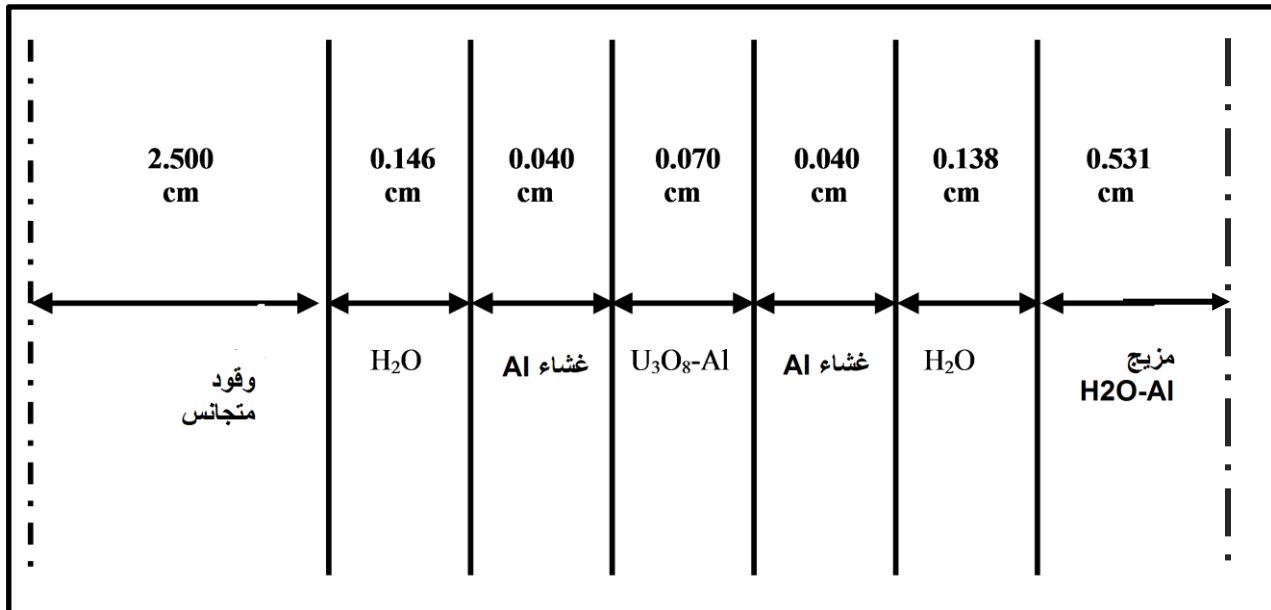
يتم عرض الشكل والأبعاد الحقيقية لعنصر الوقود نوع MTR. نموذج وحدة الخلية ل SFE هو نموذج لثلاث وسائط (الشكل III-7).

- ✓ الوسط الاول: يمثل الوقود U_3O_8-Al .
- ✓ الوسط الثاني: غشاء الالمنيوم + هيكل الالمنيوم.
- ✓ الوسط الثالث: H_2O الوسيط (الفناء بين الصفائح + قناة خارجية).



الشكل (III-7): تمثيل لخلية وقود قياسية في المفاعل [2] NUR.

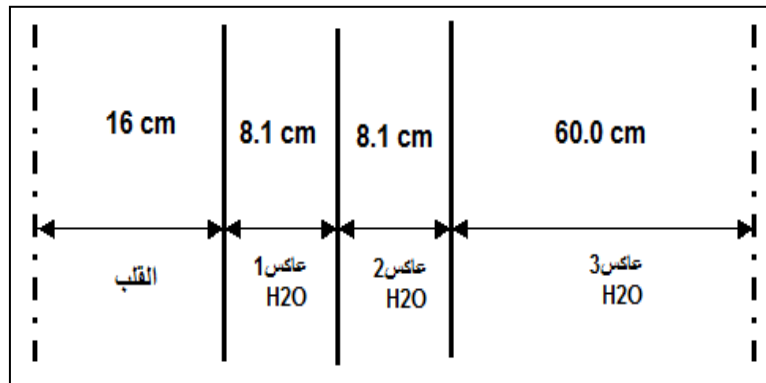
لتقديم CFE مع الشرائح الماصة الخارجية يتم اختيار نموذج لخلية ماكرو ذات 7 أوساط. المقاطع الفعالة للوسط الاول مطابقة للمقاطع الفعالة ل SFE [2].



الشكل (8-III): نموذج لخلية ماكرو لعنصر التحكم CFE [2].

المفاعلات الصغيرة مثل مفاعلات NUR تكون حساسة لعاكس البيانات، ولهذا تم تصميم نموذج لخلايا الماكرو للعاكس وتكون كالتالي:

- ✓ المنطقة الأولى (يكون سمكها 8.1 سم) لتتناسب مع جزء العاكس المتصل مع القلب النشط.
- ✓ المنطقة الثانية (سمكها 8.1 سم) لتتناسب مع الجزء الذي يليها.
- ✓ المنطقة الثالثة (سمكها 60 سم) يتوافق مع بقية العاكس.



الشكل (9-III): نموذج لخلية ماكرو للماء العاكس [2].

الشروط الحدية الخارجية العاكسة تم استعمالها لجميع الحالات باستثناء تلك المقابلة لعاكسات الماء وعمود الحرارة حيث تم استخدام الشروط الحدية الحرة.

وجود شوائب في مواد المفاعل تم نمذجتها بإضافة مكافئة من البور 8 ppm/g في U₃O₈-Al في الوقود وكمية أخرى في هيكل الألمنيوم قدرها 48 ppm/g [2].

تم انشاء بيانات لكلا الحالتين:

- ✓ حالت التبريد: $T = 20^{\circ}\text{C}$ لجميع المواد.
- ✓ حالت التسخين $T = 63^{\circ}\text{C}$ للوقود، $T = 52.6^{\circ}\text{C}$ لألمنيوم الغشاء، $T = 42.2^{\circ}\text{C}$ للماء المبرد وجميع المواد الأخرى.

تم تنفيذ حساب الخلية باستخدام البرنامج WIMSD/4 التابع لنظام التشغيل [16]. MTR_PC المرافق [19] POS_WIMS و [17] HXS لنظام التشغيل MTR_PC تم استخدامه لأجل التكتيف والتجانس ثم إعداد المقاطع الفعالة المايكروسكوبية ل 5 مجموعات طاقة موضحة في الجدول التالي:

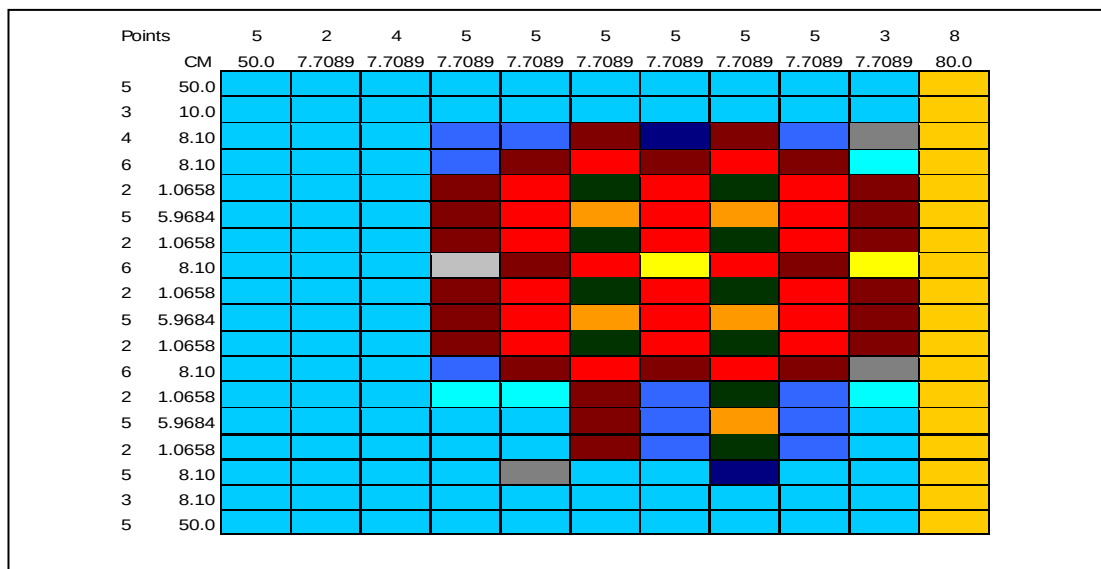
الجدول (1-III): تقسيم الطاقات الى خمس مجموعات [2].

عدد المجموعة	5	15	45	57	69
التصنيف	سريعة	epithermique	epithermique	حرارية	حرارية
الطاقة الداخلية	821 Kev	5.53 Kev	0.625 Kev	0.08 ev	0

III-4-2 الحساب العام للقلب

في هذه المرحلة تتم العمليات الحسابية العامة للقلب في الهندسة ذات بعدين حيث يتم استعمال 5 مجموعات من الطاقة من طرف البرنامج CITVAP. التقريب الفضائي اعتمد في الاتجاهين y و x .

حيث تم تحديد الكميات المهمة التالية: عامل التضاعف الفعال، التدفق النيوتروني، توزيعات معدل احتراق الوقود الخ [2].



الشكل (10-III): هندسة قلب المفاعل NUR في ملف الإدخال لـ CITVAP [2].

الفصل الرابع

دراسة النتائج بواسطة
برنامج الماتلاب

الفصل الرابع IV

دراسة النتائج بواسطة برنامج الماتلاب

1-IV مقدمة

يحتوي هذا الفصل على جزئين أساسيين، الجزء الأول وهو الجزء النظري والذي سنتطرق فيه إلى دراسة نظرية حول برنامج الماتلاب واستخداماته خاصة في توفير المنحنيات وإنشاء الواجهات الرسومية، أما الجزء الثاني وهو تجريبي سنعرض فيه النتائج بعد دراستها بواسطة برنامج الماتلاب. ثم نقوم بتحليل اهم النتائج التي تخص بعض النظائر المهمة داخل قلب المفاعل.

2-IV التعريف ببرنامج الماتلاب MATLAB

يعتبر برنامج الماتلاب البرنامج الأشهر في الأوساط العلمية، إذ يستخدم هذا البرنامج في معظم المسائل العلمية والهندسية، وبعد نمذجة أي مسألة أو ظاهرة يأتي بعدها دور هذا البرنامج ليتعامل مع تلك البرامج ويحللها بأبسط الطرق وأحدثها وأيسرها برمجة، ومن الجدير بالذكر بأن هذا البرنامج يعلم أكثر من 200 معهد وكلية في الولايات المتحدة الأمريكية فقط، عدا تلك المعاهد في أوروبا وبقية العالم، ويكفي أن تدخل إلى أحد محركات البحث على شبكة الإنترنت وتكتب فقط (MATLAB)، فستذهل من عدد المواقع التي تتحدث عن هذا البرنامج.

وتعتبر لغة الماتلاب لغة برمجية عالية الأداء تستخدم لأجراء الحسابات التقنية، وتقوم بعمليات الحساب والاضهار ضمن بيئة سهلة البرمجة كما انها لا تحتاج إلى احتراف كبير تمكنك هذه اللغة من حل العديد من المسائل التقنية حسابياً، خاصة التي يعبر عنها بمصفوفات والتي تحتاج إلى جهد كبير لبرمجتها بلغات البرمجة الأخرى مثل لغة السي ولغة فورترن [23].

أنت تسمية هذه اللغة من اختصار التعبير (Matrix Laboratory) مختبر المصفوفة، حيث أن البرنامج مصمم أساساً للتعامل مع العمليات على المصفوفات بشكل بسيط. كما ارفقت بهذه اللغة أدوات المعالجة وحل تطبيقات علمية خاصة سميت toolbox وهي أكثر من 20 أداة، وتعتبر هذه الأدوات هامة جداً لمستخدمي هذه اللغة، حيث تسمح بتعليم وتطبيق تقنيات حل متخصصة لمعالجة مشكلات ومسائل خاصة، مثل معالجة الإشارة، ونظم التحكم والمحاكاة والشبكات العصبية والتحليل الكمي والمالي والاحصاء ومسائل الجبر الخطي... الخ [23].

وكتعريف مبسط للماتلاب هو لغة ذات مستوى عالي للحسابات والبرمجة وتمتاز بوجود برامج تسهل عملية التساهل مع هذه اللغة، وتشمل البرامج على:

- ✓ الحاسبة الرياضية.
- ✓ تطوير الخوارزميات .
- ✓ معالجة البيانات .
- ✓ النمذجة والمحاكاة وتصميم المخططات الأولية للمشاريع.
- ✓ تحليل البيانات وعرضها.

- ✓ عمل الرسومات الهندسية والعلمية.
- ✓ تطوير التطبيقات ضمن واجهات من نوع (GUI).
- ويعتمد الماتلاب على تنسيق البيانات في صورة مصفوفات ويكون البرنامج مثل اغلب لغات البرنامج.
- يشمل الماتلاب مجموعة من البرامج والتي تدعى (toolbox) مما يتيح لك التعامل مع التطبيقات المتخصصة وهذه الادوات عبارة عن برامج في صورة (m.file).
- يؤمن برنامج الماتلاب أدوات واجهة التخابط الرسومية *Graphical User Interface* التي تجعلك تتعامل مع البرنامج على انه اداة تطبيقية متطورة.

IV-2-1 مؤسسو برنامج الماتلاب

- **كليف مولر (Cleve moler):** وهو استاذ الرياضيات وعلوم الحاسوب لأكثر من 20 عاما في جامعة متشجين وجامعة ستانفورد وجامعة نيومكسيكو وقد امضى 5 سنوات عند اثنين من مصنعي ال (Hardware) وهما (Intel Hypercube organization و Arden) قبل ان يقوم بالانتقال الى شركة (Mathworks) الشركة الام لبرنامج الماتلاب، كما انه المؤلف الاول لبرنامج الماتلاب [24].
- **جاك ليل (Jack Little):** هو مؤسس شركة (Mathworks) كما انه المساعد في وضع تخطيط برنامج الماتلاب، وهو حاصل على بكالوريوس الهندسة الكهربائية وعلوم الحاسوب من جامعة (MIT) عام 1978، كما حصل على شهادة (M. S. E. E) من جامعة ستانفورد عام 1980 [24].

IV-2-2 تاريخ الماتلاب

- في منتصف السبعينيات عام 1970، قام كليف مولر والذي كان في ذلك الوقت رئيسا لقسم علوم الحاسوب في جامعة نيومكسيكو وعدد من زملائه بتطوير مكتبة الفورتران والتي كانت تدعى (LINPACK و EISPACK) تحت منحة المؤسسة القومية للعلوم.
- *LINPACK* و *EISPACK* هما اللبنة البرمجية الاساسية في برمجيات حساب المصفوفة .
- بدا كليف بكتابة برنامج للوصول الى *LINPACK* و *EISPACK* بكل بساطة وسمى برنامجه *MATLAB* والتي تعني (Matrix Laboratory) أي مختبر المصفوفة.
- انتشر برنامج الماتلاب للجامعات الاخرى ووجد هذا البرنامج جمهورا قويا من قبل المختصين بالرياضيات التطبيقية .
- في عام 1983 عرض على المهندس جون ليتل برنامج الماتلاب اثناء زيارة مولر لجامعة ستانفورد، وبعد ذلك انضم ليتل الى مولر وستيف وتم اعادة كتابة الماتلاب بلغة السي.
- في عام 1984 تم تأسيس شركة *Mathworks* لمواصلة تطوير برنامج الماتلاب [23].

3-2-IV تطبيقات الماتلاب

للماتلاب تطبيقات عديدة اهمها [23]:

- في المجال الأكاديمي:
 - ✓ عمل التفاضل والتكامل.
 - ✓ حل المعادلات الجبرية (*Algebraic Equations*).
 - ✓ حل المعادلات التفاضلية ذات الرتب العليا (*Differential Equations*).
 - ✓ توفيق المنحنيات (*Curve Fitting*).
 - ✓ عمل التفاضل الجزئي وعمليات الكسر الجزئية (*Partial Fraction*).
- المجالات التطبيقية:
 - ✓ أنظمة التحكم في جميع المجالات الهندسية (*Control System*).
 - ✓ معالجة الصور.
 - ✓ محاكاة الالكترونيات.
 - ✓ مجالات صناعة السيارات.
 - ✓ مجال الطيران والدفاع الجوي.
 - ✓ مجال الروبوت.

وهناك الكثير والكثير من التطبيقات الاخرى.

3-IV توفيق المنحنيات Curve Fitting

في مختلف التجارب والمشاهدات البحثية كثيراً ما نحصل على مجموعة من القراءات المتناظرة لمتغيرين أو أكثر... وقد يكون من المفيد بعد ذلك إيجاد العلاقة بين المتغيرات التي توافق هذه القيم المتناظرة في صورة دالة تربط التغير الحادث كنتيجة لتغيرات أخرى مسببة، ويترجم هذا رياضياً بالعلاقة الدالية التالية: $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ حيث أن $(x_1, x_2, x_3, \dots)$ هي متغيرات مستقلة بينما 'y' هي المتغير الناتج من كل هذه المتغيرات و f هي الدالة التي تربط بين المتغيرات. وأبسط شكل للعلاقة السابقة يكون المتغير المستقل واحداً أي تكون العلاقة بين متغيرين اثنين فقط تكون الدالة على الصورة: $y = f(x)$ [26].

في التجارب العلمية نحصل على جدول لمجموعة من القيم المتناظرة للمتغير المستقل x والمتغير التابع y فإن كل من هذه القيم المتناظرة تمثل بنقطة واقعة على منحنى أو بالقرب منه ويكون المهم بعد ذلك هو الحصول على معادلة ذلك المنحنى الذي يمر بكل أو معظم هذه النقط أو قريباً منها بحيث تدل هذه المعادلة على الصورة العامة للعلاقة بين المتغيرين في موضوع الدراسة [26].

والمعادلة التي نحصل عليها بهذه الطريقة تسمى معادلة تجريبية *Emperial Equation* للمنحنى وتسمى هذه الطريقة المتبعة: (توفيق المنحنى *Curve Fitting*).

وقد نجد أن هناك أكثر من صورة توافق مجموعة النقط كأن يمكن رسم خط مستقيم ومنحنى أو أكثر وكل منها يوافق مجموعة النقط بدرجة مناسبة... لذلك فإنه من البداية يجب اختيار شكل المنحنى الذي تتوقع

الحصول عليه وذلك بناءً على الدراسة والمعرفة بالاعتبارات النظرية للعلاقة بين المتغيرين ومعناها الطبيعي [26].

وعموماً إذا لم تكن الدالة معروفة فإنه يمكن توفير أكثر من معادلة لنفس النتائج التجريبية وتفضل معادلة عن الأخرى عن طريق دقة تمثيلها للنتائج (معامل الارتباط)، أو بساطة استخدامها.

ومن أهم معادلات التوفيق هي:

1-3-IV معادلات التوفيق الخطية

دالة الخط المستقيم Linear Equation

وتشمل هذه الفئة مجموعة المعادلات التي يكون تمثيلها البياني عبارة عن خط مستقيم أي ما يسمى في الرياضيات بالدالة التاليفية أو الدالة الخطية وتكون معادلتها من الشكل التالي [25]:

$$y = ax + b \quad (1 - IV)$$

حيث يمثل a ميل المستقيم و b نقطة تقاطعه مع محور الفواصل .

لدالة الخط المستقيم أهمية خاصة حيث يمكن تحويل كثير من الدوال غير الخطية إليها. تمثل النقاط التجريبية على البيان وإذا لوحظ إمكان تمثيلها بخط مستقيم فيمكن إيجاد الدالة الخطية المناسبة لها. وبعد تمثيل الخط المستقيم يشترط أن تكون النقاط فوقه مساوية للتي تحته وتكون متناوبة بحيث لا تتراكم النقاط فوق الخط في ناحية منه بينما تتراكم النقاط تحت الخط في الناحية الأخرى منه.

2-3-IV معادلات التوفيق الغير خطية

وتشمل هذه الفئة عدد كبير من المعادلات من أهمها [25]:

الدالة الأسية Exponential Function

وهي من الدوال الأكثر في مجال الفيزياء وتكتب عموماً على الشكل التالي:

$$y = ae^{bx} + c \quad (2 - IV)$$

الدالة اللوغاريتمية logarithmic

تكتب على الشكل التالي:

$$y = a + b * \log(x) \quad (3 - IV)$$

هذه الدالة لا تستطيع توفير المنحنيات التي تحتوي على بيانات سالبة أو معدومة.

دالة كثير الحدود:

وهي الدالة الأكثر شيوعاً واستخداماً في توفير المنحنيات وشكلها العام كالآتي:

$$y = a_0 + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots a_{n-1}x^{n-1} \quad (4 - IV)$$

4-IV الدراسة التجريبية

بعد الدراسة النظرية لبرنامج الماتلاب وكيفية استخدامه في توفير المنحنيات وانشاء الواجهات الرسومية، يأتي الدور على الدراسة التجريبية حيث تتركز هذه الدراسة على خطوتين مهمتين وهما توفير المنحنيات وانشاء الواجهة الرسومية وذلك باستخدام برنامج الماتلاب اصدار 2016 (MATLAB2016a).

1-4-IV توفير المنحنيات بواسطة الماتلاب

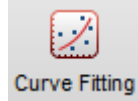
بعد استخراج البيانات من برنامج WIMS ومن اجل استخدامها في برنامج الماتلاب كان لابد من توفير هذه المنحنيات او البيانات وذلك لان برنامج الواجهات الرسومية (GUI) يعتمد في قاعدة بياناته على البيانات المتتالية برتبة (3.2.1.0...) اما البيانات المستخرجة من برنامج WIMS فهي من رتبة (4500.3000.1500.1.0...) ولتوفير هذه المنحنيات استخدمنا برنامج الماتلاب في حد ذاته وذلك باستخدام خاصية Curve Fitting ويتيح لنا برنامج الماتلاب عدة خيارات في توفير المنحنيات وذلك لاحتوائه على عدد كبير من الدوال وعدد كبير من خيارات التوفير.

ولتوفير المنحنيات بواسطة الماتلاب نتبع الخطوات التالية:

import data from file

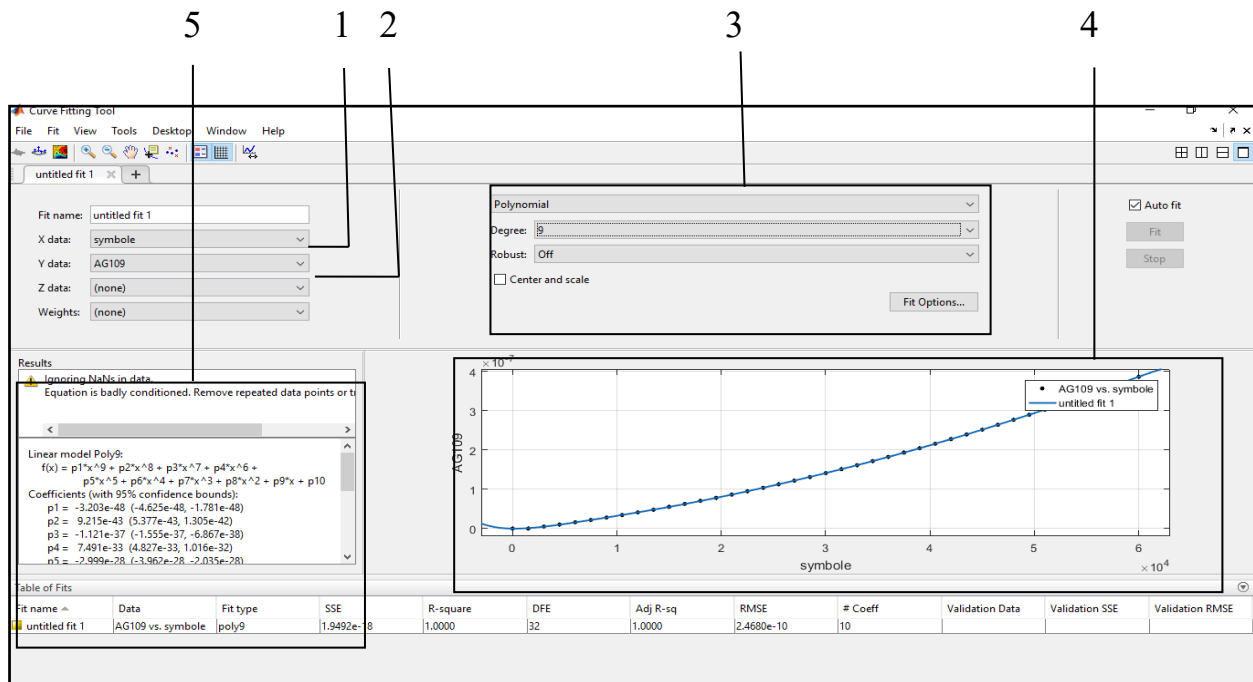


✓ أولاً نقوم باستدعاء البيانات عبر ايقونة



✓ ثانياً نقوم باختيار Apps ثم Curve fitting.

ثم نتبثق ايقونة جديدة نقوم فيها بإدخال كافة بيانات الدالة ونوع التوفير المناسب.



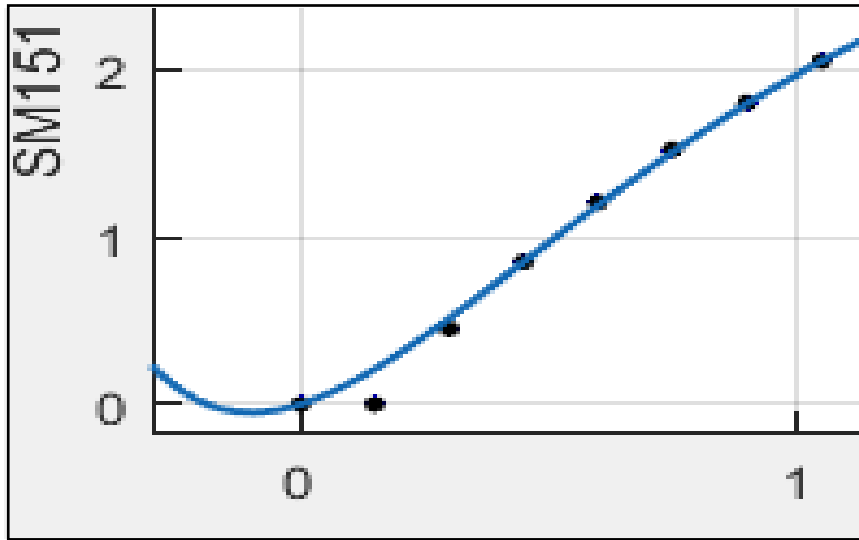
الشكل (1-IV): يمثل صورة لنفاذة توفير المنحنيات (Curve Fitting).

حيث:

- 1- ادخال قيم المحور X.
- 2- ادخال قيم المحور Y.
- 3- خيارات التوفيق (FITTING OPTION):
-اختيار الدالة
-اختيار درجة هذه الدالة بالنسبة للدوال كثيرة الحدود.
-بالإضافة الى خيارات إضافية كالتوسيط وزيادة دقة التوفيق ... الخ.
- 4- شاشة العرض تحتوي على تمثيل للنقاط البانية المراد توفيقها بالإضافة الى منحنى الدالة المختارة.
- 5- الشكل العام للدالة بالإضافة الى قيم جميع معاملاتها.

IV-4-1-1 تصحيح الخطأ

في حالة ما اذا كانت بعض النقاط بعيدة عن التمثيل البياني للدالة المختارة كما يوضح الشكل (2-IV) فانه يلزم اتخاذ إجراءات أخرى وذلك للحصول على مقدار خطأ ∇Y ∇X اقل، ولتقليل هذا الخط لأقصى ما يمكن نتبع احدى الخطوات التالية.



الشكل (2-IV): صورة لاحدى النقاط البعيدة عن البيان.

أولاً: يتم اختيار توفيق بياني جديد للنقاط البعيدة عن المنحنى وبعض النقاط القريبة بحيث يمكن إيجاد أكثر من دالة توفيقية لمجموعة من البيانات المشتركة.

على سبيل المثال في الشكل (2-IV) السابق نقوم باختيار توفيق جديد للثلاث نقاط الأولى من المنحنى.

ثانياً: يتم تعيين قيم ثابتة لكل النقاط الموجودة في المجال الذي تكون فيه النقاط مزاحة عن المنحنى.

كما في المثال السابق نختار القيم بين النقطة الأولى والنقطة الثانية كلها مساوية للقيمة الأولى وكذلك من النقطة الثانية الى النقطة الثالثة كلها مساوية للنقطة الثانية وهكذا ... الخ.

ثالثاً: نقوم بتغيير القيم الابتدائية في التجربة وذلك اما بالزيادة او بالنقصان وذلك في ملف الادخال (INPUT) لبرنامج WIMS وإعادة الحساب النووي من جديد واستخراج بيانات جديدة.

وخلال دراستنا اتبعنا الطريقة الثانية في تصحيح وتقليل مقدار الخطأ.

IV-2-5 إنشاء الواجهات الرسومية (GUI)

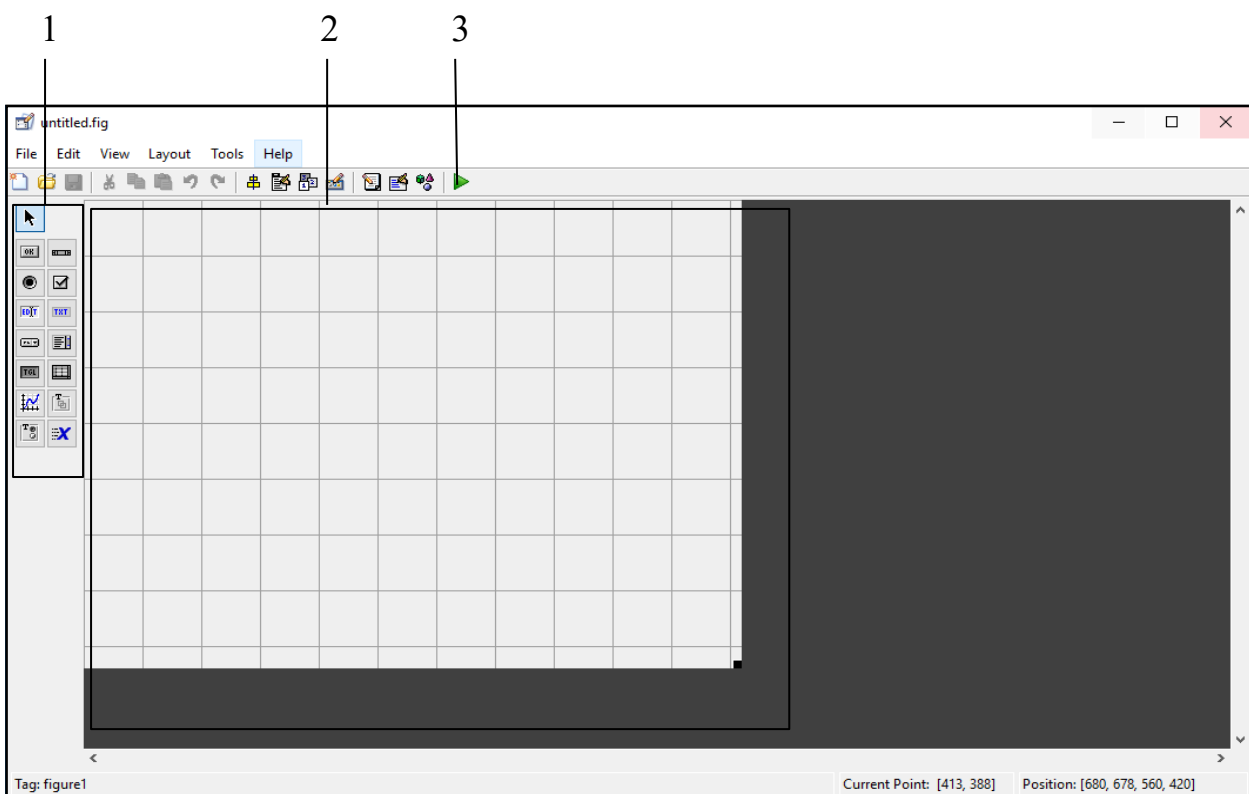
لإنشاء برنامج بواسطة برنامج الماتلاب لابد من المرور بمرحلتين مهمتين وهما مرحلة التصميم ومرحلة البرمجة.

أولاً: مرحلة التصميم.



بعد فتح ايقونة البرنامج على سطح المكتب

بعد فتح البرنامج نقوم باختيار NEW>APP>GUIDE
تنبثق النافذة التي سيتم فيها تصميم البرنامج.



الشكل (IV-3): يمثل صورة لنافذة تصميم الواجهات الرسومية.

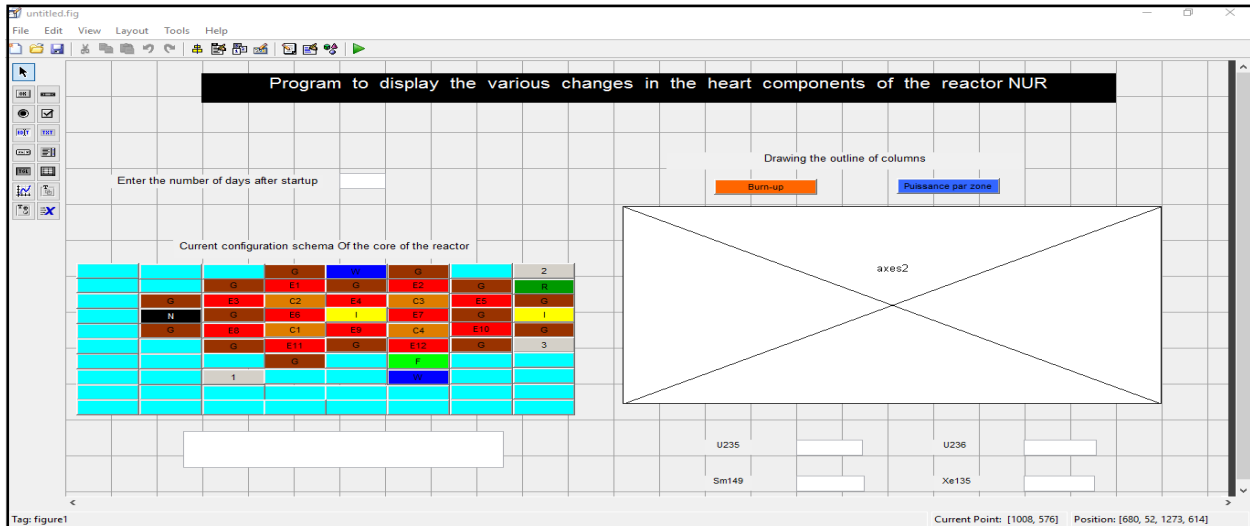
- 1- يحتوي هذا الجزء على مختلف مكونات البرنامج (ازرار. منحنيات. شاشات عرض...الخ).
- 2- الجزء المخصص لتصميم البرنامج والتحكم في مختلف خياراته وهو قابل للتعديل.
- 3- قفل التشغيل ويستخدم بعد الانتهاء من تصميم وبرمجة الواجهة الرسومية لتشغيل البرنامج النهائي.

تحتوي واجهة البرنامج على العديد من المكونات من أهمها:

- ✓ الازرار: وتستخدم لتشغيل مختلف الخيارات
- ✓ شاشات العرض والادخال: ويتم فيها تحرير النصوص بنوعيات عبارات وأرقام، وتعمل هذه الشاشات على ادخال وعرض المعلومات من قاعدة بيانات البرنامج.

- ✓ منحنيات: ويتم فيها رسم المنحنيات بمختلف أنواعها.
- ✓ النصوص الثابتة: وتستخدم للتوضيح فقط.

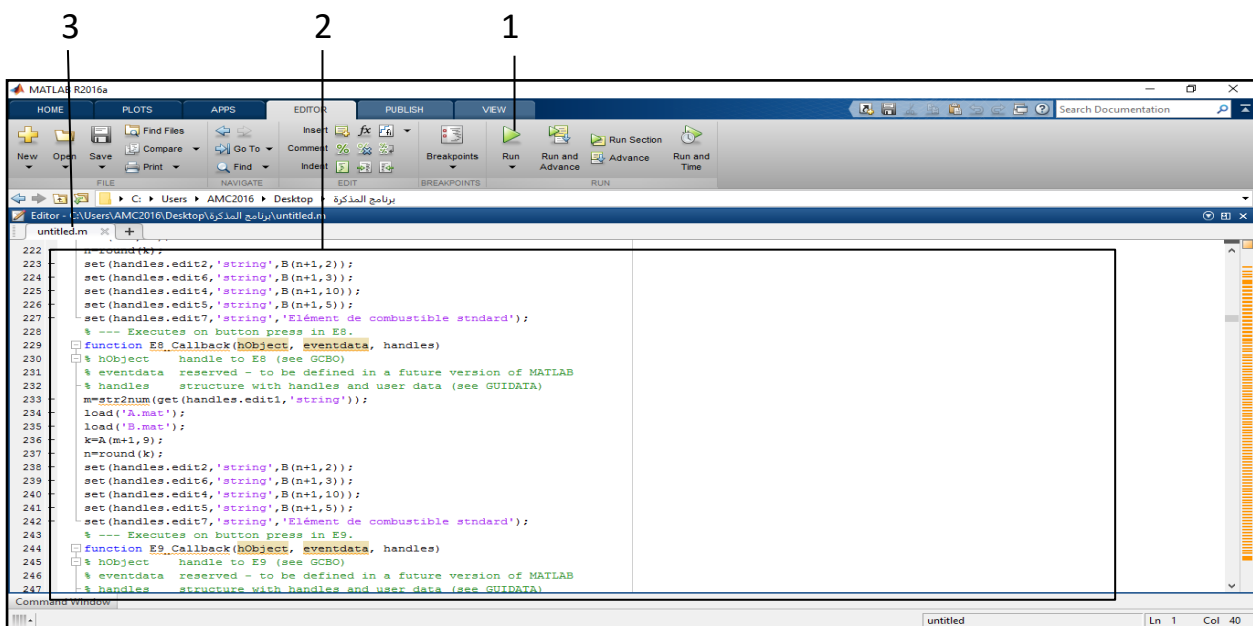
يوضح الشكل (4-IV) الموالى شكل البرنامج بعد الانتهاء من مرحلة التصميم.



الشكل (4-IV): صورة توضح واجهة البرنامج بعد التصميم

ثانيا: مرحلة البرمجة

بعد الانتهاء من مرحلة التصميم يأتي الدور على مرحلة البرمجة والتي يتم فيها كتابة الأوامر لعمل الاضرار بالشكل المطلوب. كذلك يتم في مرحلة البرمجة انشاء قاعدة بيانات البرنامج وذلك لكي يستخرج منها المعلومات اثناء استخدامه وفي حالتنا هذه قاعدة البيانات عبارة عن جدولين، الأول يمثل شدة الاحتراق Burn-up بدلالة الزمن (الايام)، والجدول الثاني يمثل كثافة النظائر بدلالة شدة الاحتراق Burn-up.



الشكل (4-IV (5): صورة توضح مرحلة البرمجة على مستوى ملف m.file.

1- قفل التشغيل بعد الانتهاء من البرمجة

2- منطقة مخصصة لكتابة البرنامج.

3- نوع واسم الملف.

تتم برمجة الواجهة على مستوى ملف (m.file) وذلك بكتابة كل الأوامر فيه، وتختلف الأوامر حسب كل عنصر من العناصر (شاشات، أزرار، منحنيات...) وذلك حسب دوره في البرنامج. يوضح الجدول (1-IV) اهم الأوامر التي استخدمت في برمجة مكونات البرنامج.

الجدول (1-IV): بعض الأوامر المستخدمة في برمجة الماتلاب [25].

الأمر	الدور
str2num	تحويل متغير حرفي الى متغير عددي
num2str	حويل متغير عددي الى متغير عددي
handles.edit	قراء مابداخل علبة الحوار (edit1)
Bar()	رسم منحنى اعمدة
Get	ادخال متغير
Set	اخراج متغير

بعد الانتهاء من مرحلتي التصميم والبرمجة يصبح البرنامج جاهز للاستخدام. يوضح الشكل (6-IV) صورتين مختلفتين للبرنامج بعد تشغيله.



الشكل (6-IV): صورتين للبرنامج بعد التشغيل.

5-IV دراسة تطور أهم النظائر داخل قلب المفاعل النووي

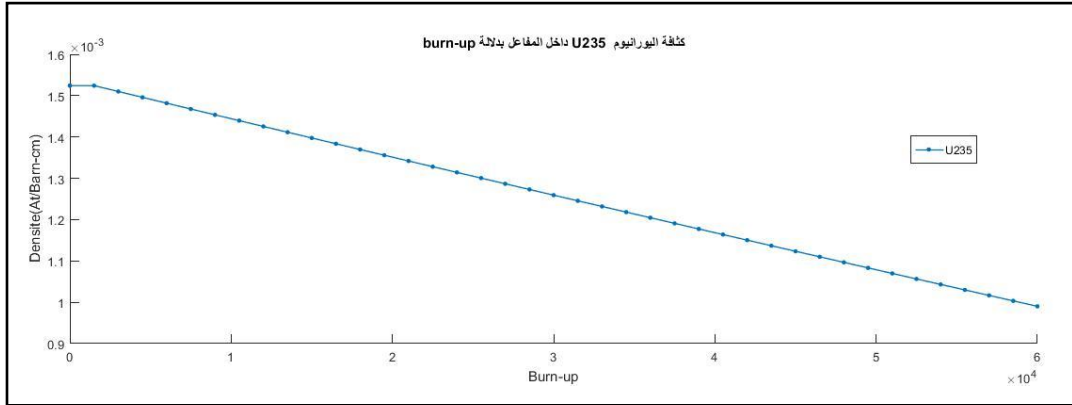
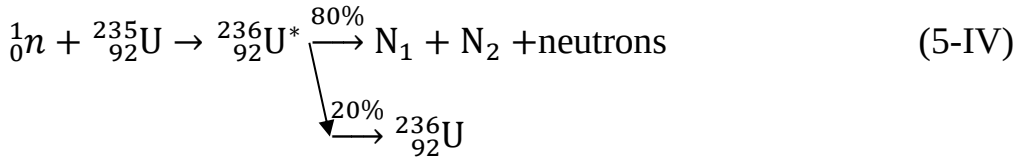
1-5-IV دراسة تطور U^{235} و U^{236} داخل قلب المفاعل النووي

تناقص عدد أنوية U^{235} بصفة منتظمة من حوالي $1.52 \times 10^{-3} \text{ At/Barn.cm}$ عند Burn-up=0 وصولاً إلى $1 \times 10^{-3} \text{ At/Barn.cm}$ عند $\text{Burn-up} = 6 \times 10^4$. يرجع هذا التناقص أساساً إلى انشطار هذه الأنوية نتيجة تعرض هذه الأنوية للقذف بالنيوترونات الحرارية.

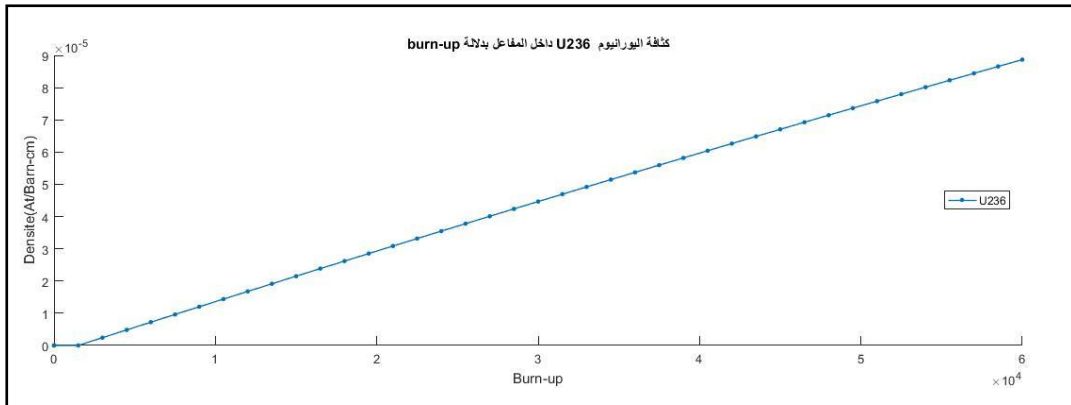
جزء قليل من هذه الأنوية (16% إلى 17%) يتحول إلى U^{236} .

ويسمى هذا التناقص باستهلاك الوقود النووي في قلب المفاعل.

تزايد عدد أنوية U^{236} بصفة منتظمة انطلاقاً من قيمة معدومة عندما يكون الوقود جديد إلى حوالي $8.8 \times 10^{-4} \text{ At/Barn.cm}$ عند $\text{Burn-up} = 6 \times 10^4$ هذه الأنوية تنتج عن طريق القنص النووي لأنوية U^{235} وفق المعادلة التالية :



الشكل (7-IV): منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{235} بدلالة Burn-up



الشكل (8-IV): منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{236} بدلالة Burn-up.

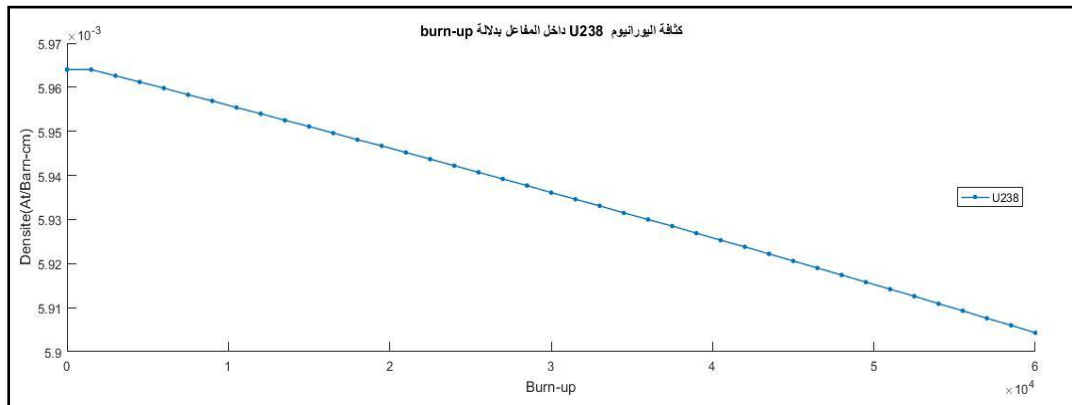
2-5-IV دراسة تطور U^{238} و Pu^{239} داخل قلب المفاعل النووي

انوية اليورانيوم U^{238} تتناقص بانتظام داخل قلب المفاعل لكن بشكل طفيف فهي تنتقل من حوالي $5.96 \times 10^{-3} \text{ At/Barn.cm}$ عند $\text{Burn-up}=0$ وصولاً إلى $5.9 \times 10^{-3} \text{ At/Barn.cm}$ عند $(6 \times 10^4 = \text{Burn} - \text{up})$.

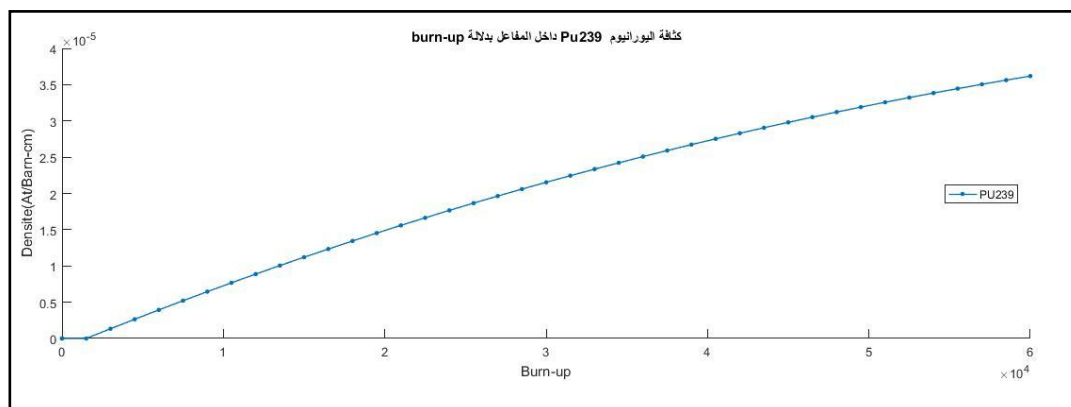
الكمية المتناقصة تتحول معظمها أي حوالي (90%) إلى انوية البلوتينيوم والجزء الآخر ينشطر بفعل النيوترونات السريعة وهو مهمل.

كما ذكرنا في التفسير السابق فالبلوتينيوم Pu^{239} ينتج بصفة كلية من القنص النيوتروني لانوية اليورانيوم U^{238} الانوية المنتجة تتعرض لتدفق النيوترونات الحرارية فتتنشطر وتنتج انوية أخرى تماماً مثلما يحدث مع أنوية U^{235} وبالتالي فإن زيادة كمية Pu^{239} تعوض ولو بشكل طفيف كمية U^{235} المستهلكة في المفاعل وتؤدي إلى زيادة الوقود النووي .

جزء قليل من أنوية Pu^{239} يتحول عن طريق عمليات القنص النيوتروني المتتالي.



الشكل (9-IV): منحنى تغير كثافة اليورانيوم U^{238} بدلالة Burn-up.



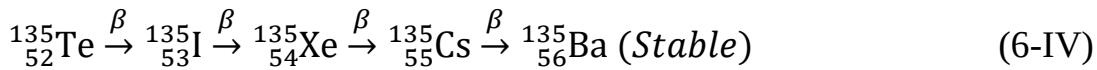
الشكل (10-IV): منحنى تغير كثافة البلوتينيوم Pu^{239} بدلالة Burn-up.

3-5-IV دراسة تطور تراكيز السموم داخل المفاعل النووي

تعتبر سموم المفاعل النووي من اهم نواتج الانشطار التي يتم التركيز عليها نظرا لأهميتها في عمل المفاعل حيث تعمل على امتصاص النيوترونات بشكل كبير دون ان يؤدي ذلك الى احداث انشطار وأشهر عنصرين هما Xe^{135} و Sm^{149} .

Xe^{135} :

بعتبر Xe من السموم وذلك بسبب مقطعه الفعال لامتصاص النيوترونات الحرارية الكبير والمقدر بحوالي $\sigma_a = 2.6 \times 10^6 \text{ barn}$ فهو يعتبر اهم السموم في المفاعل حيث يمتص النيوترونات بشكل كبير، ويظهر أثره مباشرة بعد تشغيل المفاعل ونلاحظ ذلك في التناقص الكبير لعامل التضاعف الفعال k_{eff} . لكن كمية Xe^{135} سرعان ما تستقر عند قيمة معينة (في هذه الحالة 1.4×10^{-7}) وذلك نتيجة انحلال أنوية Xe^{135} عن طريق تفاعل β معطية أنوية Cs^{135} والتي بدورها تتحول الى B^{135} وفق تفاعل β ايضا، تعطى معادلة انتاج واستهلاك Xe^{135} بالمعادلة التالية [30]:



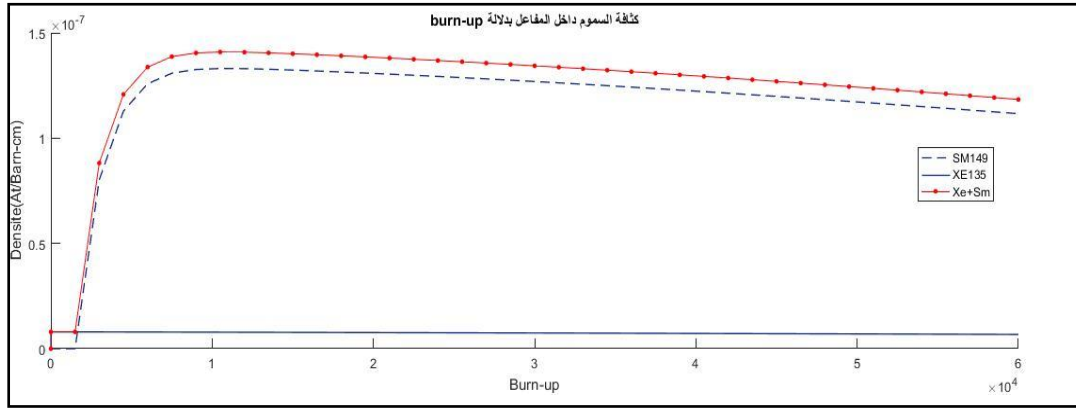
$$19\text{sec} \quad 6.75 \text{ hr} \quad 9.10 \text{ hr} \quad 2.36 \times 10^6 \text{ years}$$

تنتج أنوية Xe اما مباشرة من انشطار أنوية U^{235} او عن طريق انحلال β لأنوية I^{135} والنااتجة ايضا عن أنوية Te^{135} هذه الاخيرة لها زمن نصف عمر قصير جدا يقدر ب 19sec ولهذا فهي لا تظهر في نواتج الانشطار [30].

Sm^{149} :

يعتبر اقل تأثيرا من Xe^{135} لكنه بدوره يؤدي الى عرقلة عمل المفاعل بسبب مقطعه الفعال للامتصاص والمقدر ب $\sigma_a = 4 \times 10^4 \text{ barn}$. كميته المنتجة في المفاعل تقدر بحوالي 1.1×10^{-7} ، كما يعتبر Sm اخر عنصر في عملية انحلال الأنوية وفق المعادلة التالية [30]:



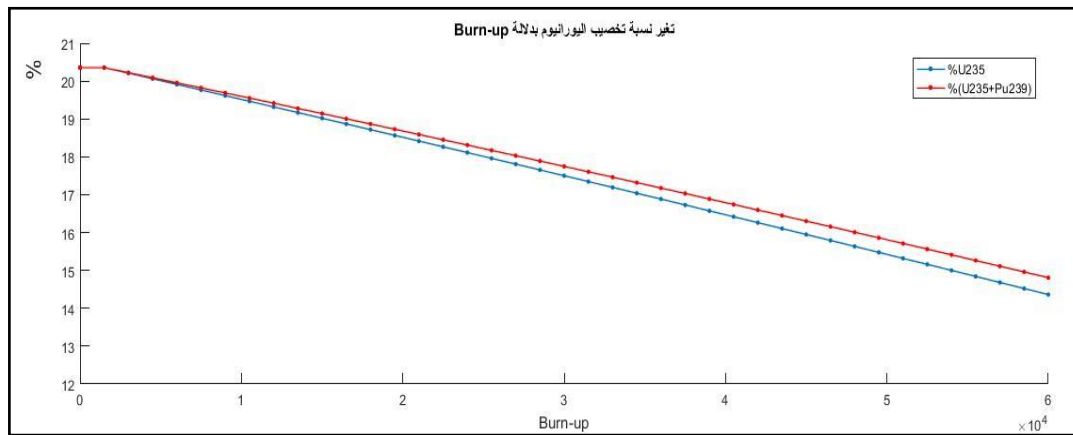


الشكل (11-IV): منحنى تغير كثافة السموم بدلالة Burn-up.

4-5-IV نسبة تخصيب اليورانيوم

وقود مفاعل النووي *NUR* ذو تخصيب منخفض. حيث تبلغ نسبة التخصيب (نسبة U^{235} في الوقود) حوالي 20% بالنسبة لعنصر الوقود الجديد.

عند استغلال الوقود في المفاعل تتناقص هذه القيمة تدريجيا حتى تبلغ نسبة 14.36% عند $Burn - up = 6 \times 10^4$ نسبة التخصيب ترتفع قليلا إذا ما اخذنا في الحسبان عدد أنوية البلوتونيوم P^{239} المنتجة فتصبح النسبة 14.81% عند $Burn - up = 6 \times 10^4$.



الشكل (12-IV): منحنى تغير نسبة تخصيب اليورانيوم.

6-IV نواتج الانشطار

تنتج عن انشطار أنوية U^{235} عدد كبير من الأنوية، جزء معتبر منها لا يمكن رصده اما بسبب كميته المهملة جدا او بسبب نصف عمر قصير جدا.

اما الجزء الاخر والذي يظهر في الوقود، عند بدأ تشغيله يمكن تصنيفه اما حسب اهميته او خطورته او حسب زمن نصف العمر الى اربعة اصناف وهي:

IV-6-1 مواد مستقرة

وتنتج هذه الأنوية اما مباشرة عن طريق الانشطار النووي او تكون الأخيرة في سلسلة الانحلال الاشعاعي لأنوية أخرى، بالإضافة الى انوية أخرى موجودة في الوقود مثل الاكسجين ($H_2O-U_3O_8$)، او الالمنيوم الموجود في الغلاف، او شوائب البور، الجدول (2-IV) يوضح هذه النظائر المستقرة داخل المفاعل.

الجدول(2-IV): النظائر المستقرة داخل المفاعل NUR.

Name	Symbole	WIMS-ID [29]	Name	Symbole	WIMS-ID [29]
Boron	B	11	Xenon	XE 131	131
Oxygen	O16	16	cesium	CS 133	133
Aluminum	Al 27	27	neodymium	ND 143	143
Krypton	Kr 83	83		ND 145	145
Molybdenum	MO 95	95	Samarium	SM 149	149
Ruthenium	Rμ 101	101		SM 150	150
rhodium	RH 103	103		SM 152	152
Palladium	PD 108	108	Europium	EU 153	153
Money	AG 109	109	Gadolinium	GD 157	157
iodine	I 127	127	Lead	PD 105	1105

IV-6-2 مواد ذات نصف عمر قصير

وهي العناصر التي لها نصف عمر اقل من سنة يوضح الجدول (3-IV) نواتج الانشطار ذات النصف عمر القصير:

الجدول(3-IV): النظائر ذات نصف العمر القصير داخل المفاعل NUR.

Name	Symbole	WIMS-ID [29]	Halfe-life [31]
Xenon	XE 135	135	9.14 h
rhodium	RH 105	1105	35.36 h
Promethium	PM 148A	148	5.37 d
Promethium	PM 148B	1481	5.37 d
Ruthenium	RU 103	1103	39.26 d

3-5-IV مواد ذات نصف عمر متوسط

وهي المواد التي لها نصف عمر أقل من 100 سنة ويظهر الجدول هذه المواد بالإضافة الببوتينيوم الناتج عن سلسلة قنص نيوترون مصدره U^{238} وهي موضحة في الجدول

الجدول(4-IV): النظائر ذات نصف العمر القصير داخل المفاعل NUR.

Name	Symbole	WIMS-ID [31]	Halfe-life [31]
Cesium	CS 134	134	2.06 y
Prométhium	PM 147	147	2.62 y
Promethium	PM 147 A	1147	2.62 y
Europium	EU 155	155	4.76 y
Europium	EU 154	154	8.59 y
Plutonium	PU 241	241	14.35 y
Samarium	SM 151	151	90 y

4-5-IV مواد ذات نصف عمر طويل

وهي المواد التي لها نصف عمر أكثر من مئة سنة أبرزها البلوتونيوم واليورانيوم، يوضح الجدول (5-IV) كل هذه المواد.

الجدول(5-IV): النظائر ذات نصف العمر القصير داخل المفاعل NUR.

Name	Symbole	WIMS-ID [31]	Halfe-life [31]
Plutonium	PU 240	1240	6564 y
Plutonium	PU 239	3239	$2.4 \cdot 10^5$ y
Technetium	Tc 99	99	$2.1 \cdot 10^5$ y
Plutonium	PU 242	242	$3.7 \cdot 10^7$ y
cesium	CS 135	1135	$2.3 \cdot 10^6$ y
Uranium	U 236	236	$2.3 \cdot 10^7$ y
Uranium	U 235 A	235	$7 \cdot 10^8$ y
Uranium	U 238	2238	$4.4 \cdot 10^9$ y
Samarium	SM 147	2147	$1.6 \cdot 10^{11}$ y
Indium	IN 115	115	$4.4 \cdot 10^{14}$ y
Cadmium	CD 113	113	$7.7 \cdot 10^{15}$ y

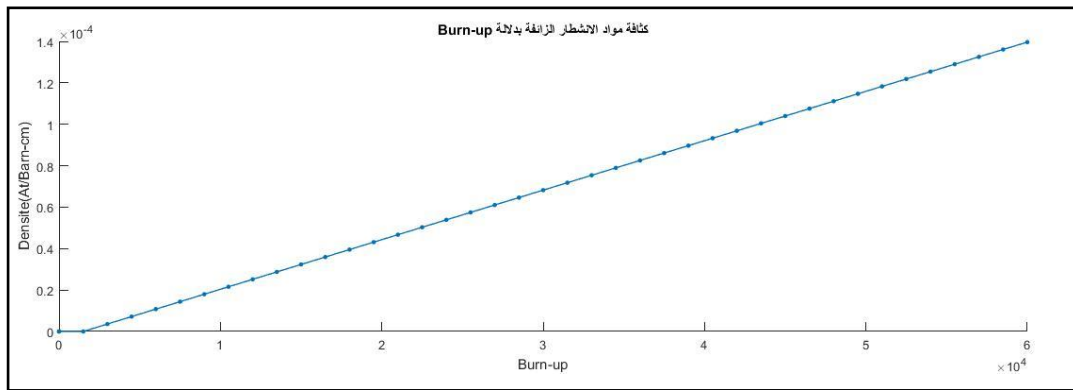
7-IV معالجة بقية نواتج الانشطار

إن باقي المنتجات الانشطارية التي لا تكتسي أهمية كبيرة كالعناصر السابقة، يتم تجميعها في عنصر واحد يسمى منتج الانشطار الزائفة PSEUDO. تم حساب المقاطع العرضية لمنتج الانشطار الزائف عن طريق المتوسط المرجح للنويدات المكونة له. وفي برنامج WIMS استخدمت العوائد التراكمية كأوزان للحصول على منتج انشطار زائف لنوييدة انشطارية.

وتعتمد ثابت الإنحلال على النويدات الانشطارية الأم. ولذلك تقرر تحديد منتج انشطار زائف واحد لجميع النويدات الانشطارية عن طريق أخذ متوسط المقاطع العرضية لمنتجات الانشطار الزائفة من U-235 و U-238 و Pu-239 بنسبة 54% و 8% و 38% على التوالي [32].

الجدول (6-IV): جدول نواتج الانشطار الزائفة داخل المفاعل NUR [32].

No.	Nuclide	No.	Nuclide	No.	Nuclide	No.	Nuclide
1	32-Ge- 72	21	38-Sr- 88	41	48-Cd-114	61	54-Xe-132
2	32-Ge- 73	22	39-Y 89	42	48-Cd-116	62	56-Ba-134
3	32-Ge- 74	23	40-Zr- 90	43	49-In-113	63	56-Ba-135
4	32-Ge- 76	24	40-Zr- 91	44	50-Sn-115	64	56-Ba-136
5	33-As- 75	25	40-Zr- 92	45	50-Sn-117	65	56-Ba-137
6	34-Se- 76	26	40-Zr- 93	46	50-Sn-118	66	56-Ba-138
7	34-Se- 77	27	40-Zr- 94	47	50-Sn-119	67	58-Ce-140
8	34-Se- 78	28	40-Zr- 96	48	50-Sn-126	68	58-Ce-142
9	34-Se- 80	29	41-Nb- 94	49	51-Sb-121	69	59-Pr-141
10	34-Se- 82	30	42-Mo- 96	50	51-Sb-123	70	60-Nd-142
11	35-Br- 79	31	42-Mo- 97	51	52-Te-122	71	60-Nd-144
12	35-Br- 81	32	44-Ru- 99	52	52-Te-123	72	60-Nd-146
13	36-Kr- 80	33	44-Ru-100	53	52-Te-124	73	60-Nd-148
14	36-Kr- 82	34	44-Ru-102	54	52-Te-125	74	60-Nd-150
15	36-Kr- 84	35	44-Ru-104	55	52-Te-126	75	62-Sm-154
16	36-Kr- 86	36	46-Pd-104	56	52-Te-128	76	64-Gd-152
17	37-Rb- 85	37	46-Pd-106	57	52-Te-130	77	64-Gd-160
18	37-Rb- 87	38	46-Pd-110	58	53-I 129	78	65-Tb-159
19	38-Sb- 86	39	48-Cd-111	59	54-Xe-128	79	65-Tb-160
20	38-Sb- 87	40	48-Cd-112	60	54-Xe-130	80	



الشكل (13-IV): منحنى تغير كثافة نواتج الانشطار الزائفة بدلالة Burn-up.

خاتمة عامة

الخاتمة

استهلاك الوقود هو عبارة عن عملية تناقص انوية ^{235}U ، اما عن طريق الانشطار او عن طريق القنص النووي، يؤدي هذا الى ظهور عدد كبير من الأنوية "الأنوية التي يتم رصدها تختلف أهميتها بحسب دورها في عمل المفاعل او استعمالاتها الخارجية كالطب او البحث العلمي او حسب خطورتها على البيئة والانسان". قمنا بتصنيف نواتج الانشطار حسب نصف العمر الى مستقر، قصير، متوسط وطويل. هناك بعض الأنوية الأخرى (نقصد هنا الأكتينيدات) لا تنتج عن الانشطار النووي وانما عن طريق عملية قنص نثروني لأنوية أخرى.

النتائج المتحصل عليها تطابق الى حد كبير النتائج النظرية والفرضيات الفيزيائية كما نجد لها تفسير من خلال معادلات الانحلال الاشعاعي، فمثلا ان تزايد ^{236}U ينسبة 16% الى 17% من عدد ^{235}U المدمرة، وهو قريب جدا من القيمة النظرية والتي تساوي تقريبا 20%. [1].

اما بالنسبة لكمية اليورانيوم ^{238}U المستهلكة في المفاعل فإن 90% منها تتحول الى أنوية ^{239}Pu وهو ما تظهره النتائج الحسابية عند قيم Burn-up صغيرة، هذه النسبة تتناقص حتى تصل 33% عند $\text{Burn-up}=6.10^4$ وهذا يمكن تفسيره أيضا بسبب انشطار أنوية ^{239}Pu .

اما بالنسبة لنسبة تخصيب اليورانيوم فتتناقص بصفة تدريجية حتى تصل الى نسبة 14.16% بعد ماكانت 20.3%. ظهور انوية ^{239}Pu يزيد من نسبة تخصيب الوقود بنسبة ضئيلة (14.83 بدل 14.16). هذا التناقص يؤثر على هندسة قلب المفاعل ويقلل من كمية الطاقة المنتجة ومن تدفق النترونات.

تم استخدام برنامج الماتلاب من اجل استخلاص نتائج WIMS و CITVAP. وكذا رسم البيانات وتوفيق المنحنيات (Curve Fitting) بالإضافة الى عرض النتائج وذلك نظرا للمزايا العديدة التي يقدمها هذا البرنامج وخاصة مكتبته الواسعة.

الملحق الأول

وصف المفاعل النووي

NUR

الملحق الأول

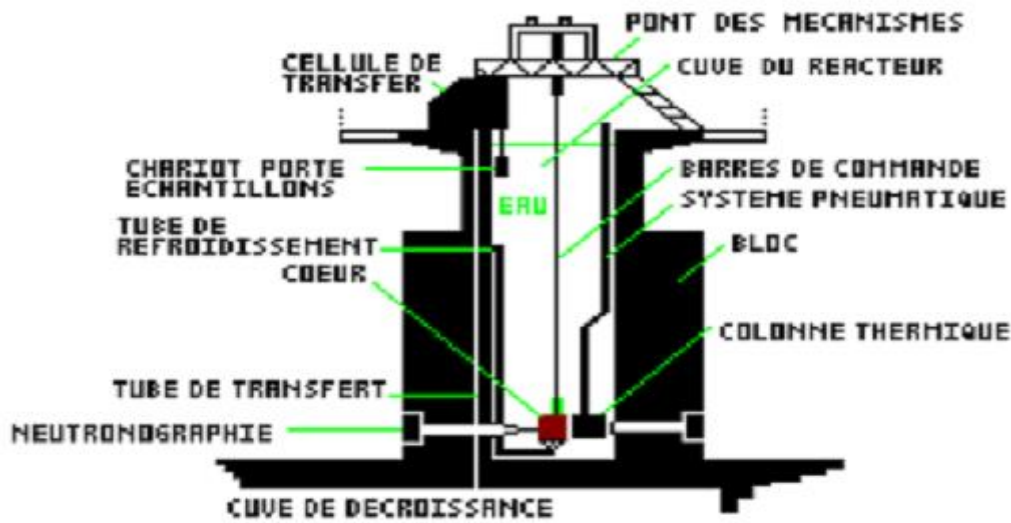
وصف المفاعل النووي NUR

1- مفاعل نور النووي

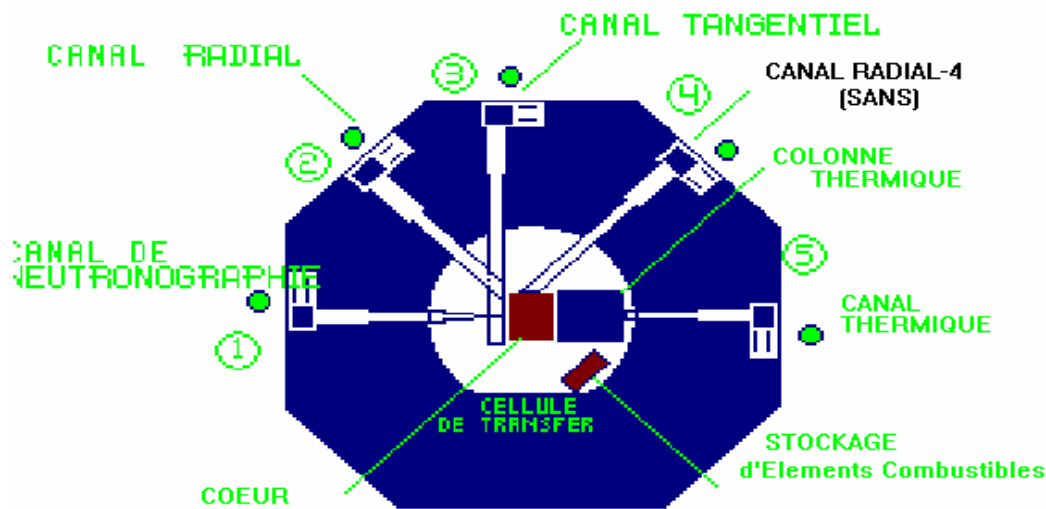
مفاعل نور أول مفاعل للأبحاث أنشئ في الجزائر من قبل الشركة الأرجنتينية INVAP في أول مارس 1989 وتم تشغيله في الثالث من شهر أفريل من العام 1989، تم تركيبه في مركز للأبحاث النووية (CRND) بدرارية، وهو مفاعل من نوع حوض (مسبح) متعدد الأغراض بقوة 1MW وهو مماثل لمفاعل النووي الأرجنتيني RA-6، مفاعل نور ذو قلب يتألف من عناصر على شكل ألواح من الوقود المخصب مبردة ومعدلة في الماء الخفيف، كل من المفاعل ومواقع التشعيع عمودية في القلب، وفي العمود الحراري. كما أن لديها خمس قنوات تشعيعية أفقية كما يوضح الشكل (1-2) بحيث يصل تدفق النيوترونات في وحدة الحجم إلى $10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$. ونظام التبريد يضم دائرتين: الدائرة الأولية وهي التي تعمم المياه عالية النقاء ومن الدائرة الثانوية التي توزع المياه الخفيفة، يتم نقل الحرارة في الغلاف الجوي بواسطة برج التبريد، تشغيل نظام التهوية للحفاظ على مفاعل وتنقية الهواء باستمرار [27].

المفاعل النووي NUR مصمم أساسا من أجل:

- ✓ انتاج النظائر المشعة للأغراض الطبية والصناعية.
- ✓ التحليل بواسطة التنشيط النيوتروني.
- ✓ التصوير النيوتروني للأغراض الطبية والصناعية.
- ✓ البحوث الأساسية والتطبيقية في هندسة وفيزياء مفاعلات النووية.
- ✓ مراقبة المواد.
- ✓ التدريب في مجال العلوم النووية والموظفين التقنيين.
- ✓ تدريب الطلاب في الهندسة النووية.



الشكل (1-1): صورة توضح مقطع طولي لمفاعل NUR. [2].



الشكل (2-1): صورة توضح مقطع طولي لمفاعل NUR. [28].

2- المكونات الأساسية لمفاعل النور

يتكون مفاعل نور من عدة عناصر نذكر أهمها [27]:

✓ القلب (منطقة الفعالة).

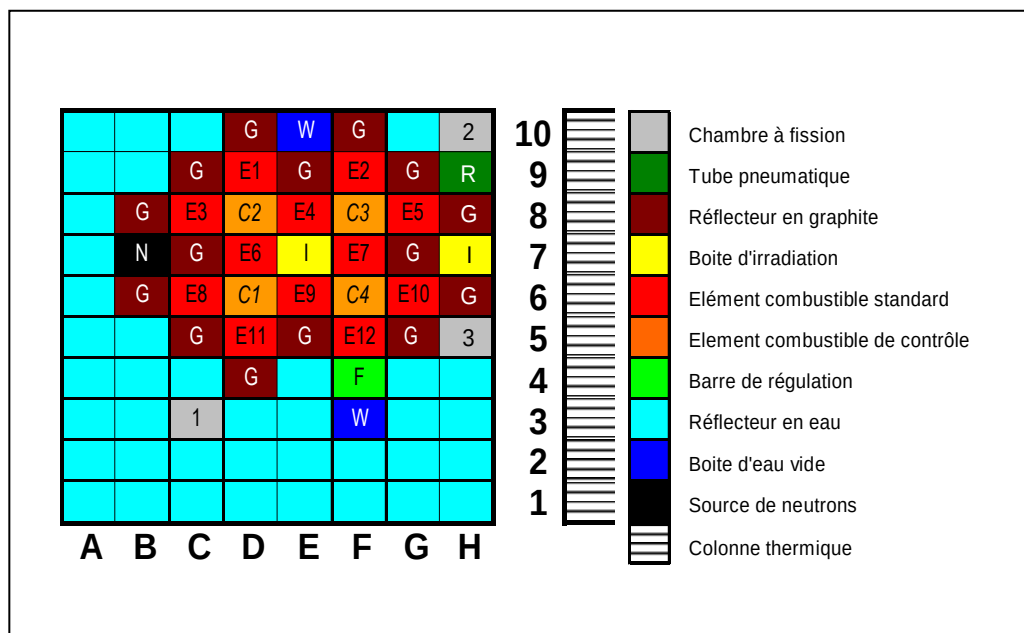
✓ الوقود.

✓ نظام التحكم والأمن.

✓ نظام التبريد.

1-2 القلب

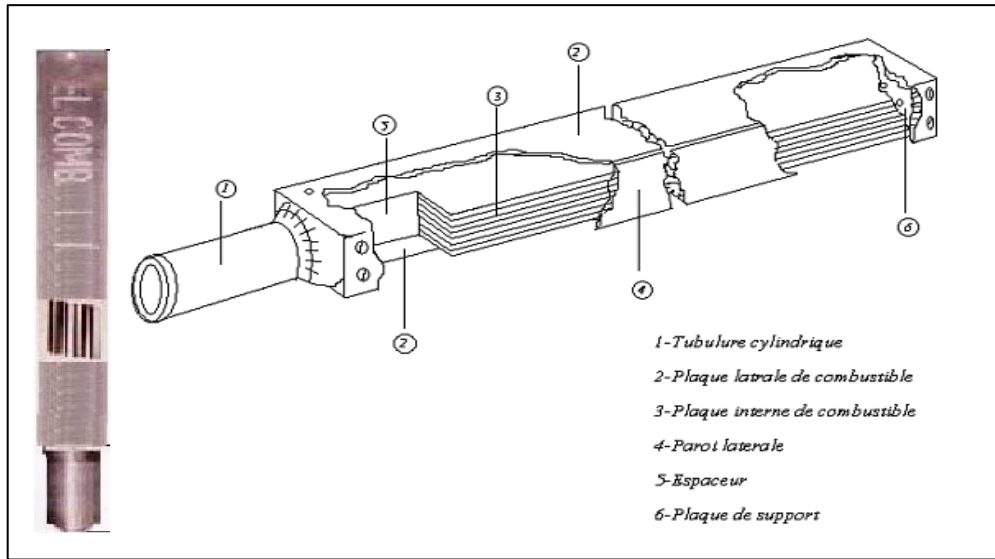
هو أحدث وأهم جزء الذي يعتبر العنصر الأساسي من المفاعل، بحيث هو عبارة عن موقع التفاعلات الانشطارية وإنتاج الحرارة، وهو يحتوي على الوقود والسوائل الناقلة للحرارة التي تتدفق على طول عناصر الوقود لإزالة درجة الحرارة ووسائط التبريد. ويوجد في القلب الماء الخفيف تحيط به كتل الكرافيت وعاكسات النيوترونات [2]. ويرد هذا التكوين في الشكل (3-1).



الشكل (3-1): رسم تخطيطي يوضح التكوين الحالي لمفاعل NUR. [2]

2-2 الوقود

وهو من المكونات الأساسية في المفاعل. ويمكن تعريفه أيضا بأنه مكان حدوث التفاعلات والانشطارات النووية. ولذلك فإنه يحتوي على النظائر الانشطارية اللازمة للتفاعل. دورها هو السماح لانشطارات اليورانيوم U-235 بواسطة النيوترونات الحرارية. ويبين الشكل (4-1) نظرة عامة على عنصر الوقود [2].

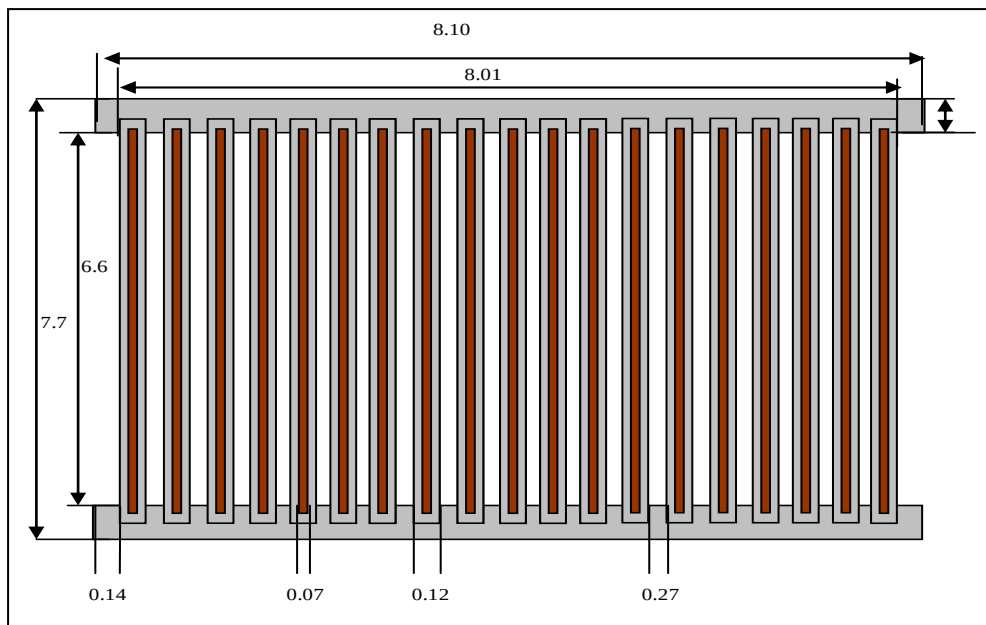


الشكل (1-4): صورة توضح عنصر وقود عادي [2].

ويتميز مفاعل نور النووي بنوعين من العناصر الوقود وفق لمكوناتها:

1-2-2 عنصر الوقود القياسي (العادي)

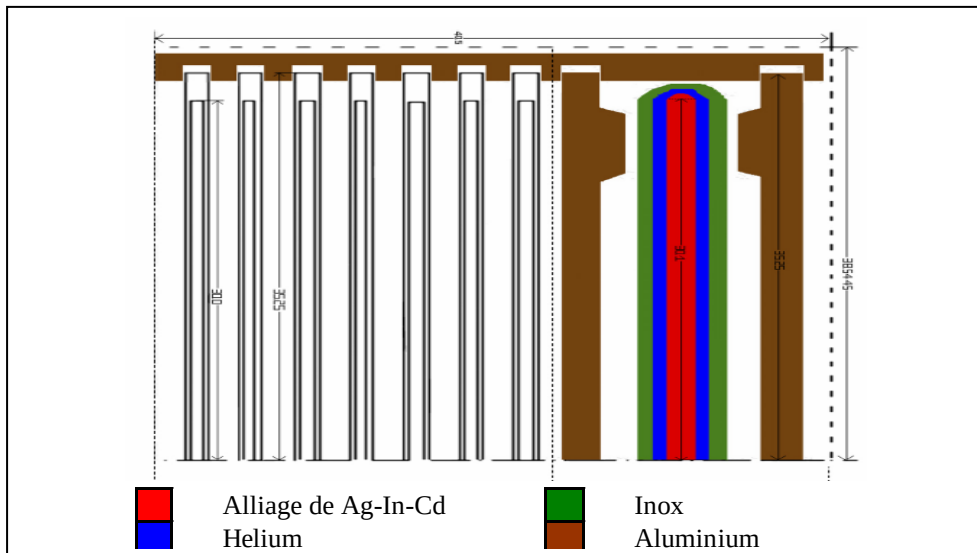
ويحتوي على 19 صفيحة وقود مخصب بنسبة 20% من U-235 الصفائح مصنوعة على شكل شطيرة (sandwich) تحتوي على خليط مناسب من (U3O8, Al) ومغلفة بغمد من الألمنيوم. الشكل (1-5) يوضح مقطع عرضي لعنصر وقود عادي [2].



الشكل (1-5): مقطع عرضي لعنصر وقود عادي [2].

2-2-2 عنصر الوقود الخاص بالمراقبة

وهي مطابقة لعناصر الوقود القياسية إلا أن 5 من اللوحات المحيطية تستبدل بقناتين لتوجيه قضبان ماصة للنيوترونات للتحكم في المفاعل. الشكل (6-1) يوضح مقطع عرضي لعنصر الوقود الخاص بالمراقبة.



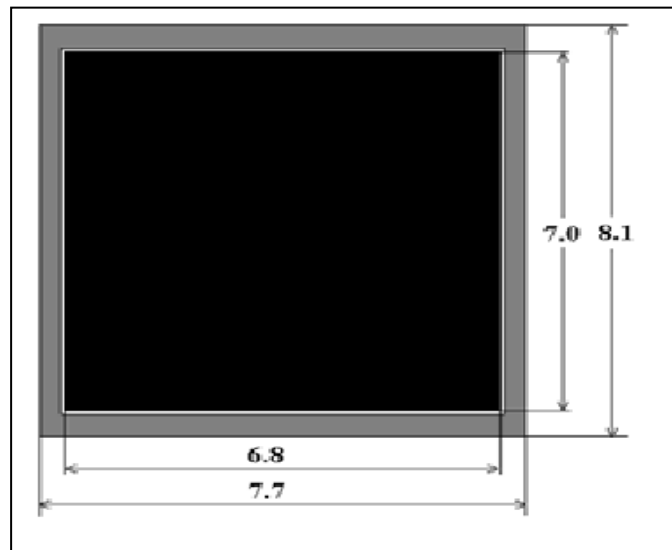
الشكل (6-1): المقطع العرضي ل 1/4 من عنصر الوقود الخاص بالسيطرة [2].

3-2 السائل المبرد

وهو السائل الذي يدور على طول عناصر الوقود لإزالة الحرارة الناتجة من الانشطار. في هذا المفاعل السائل المبرد هو الماء الخفيف.

4-2 العاكس

تستخدم العواكس من أجل تقليل تسرب النيوترونات نحو الوسط الخرجي وتحسين التدفق النيوتروني. قلب المفاعل NUR يحتوي على 16 عاكس من الغرافيت. وهذه العاكسات لها نفس الأبعاد الخارجية مثل عناصر الوقود (7.6 × 8.01 cm). وهي تحتوي على غرافيت نقي نوويًا وبكثافة قدرها 1.7 g / cm³ الشكل (1-7) يظهر مقطع عرضي لأحد عناصر الغرافيت.



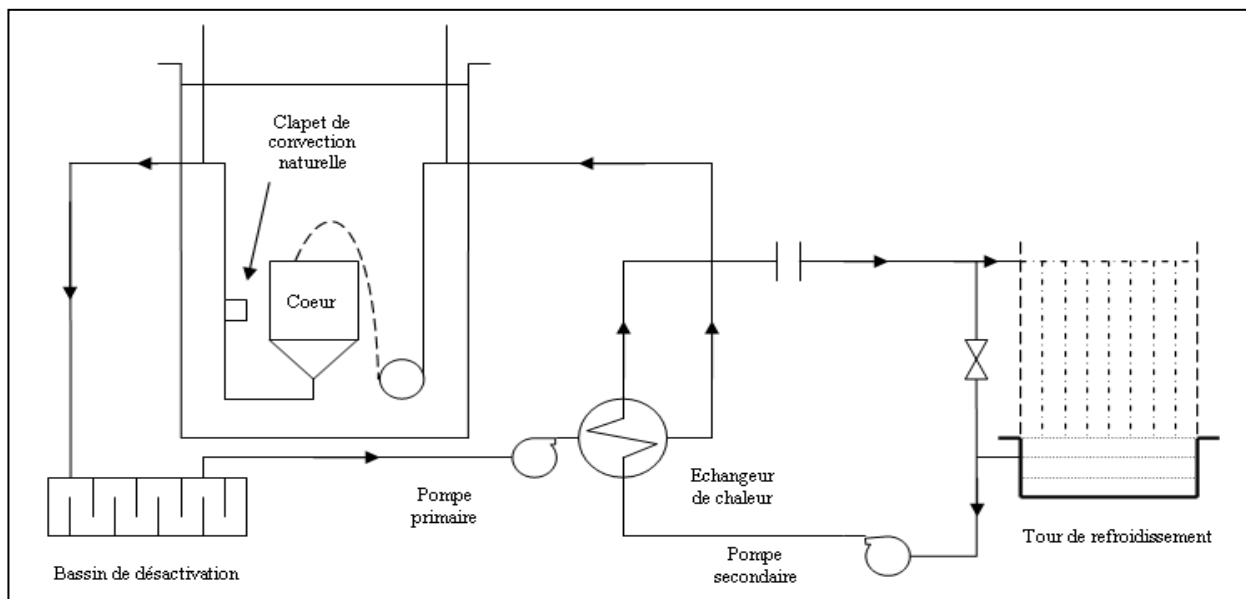
الشكل (7-1): مقطع عرضي لآحد عناصر الغرافيت [2].

5-2 مهدا النيوترونات

بعد الانشطار تنبعث النيوترونات بطاقة عالية جدا. ولضمان الحصول على انشطار آخر من هذا النترون علينا تهدئته. ولهذا من الضروري استخدام مواد مهدئة وهي ما تسمى بالمواد المشرفة. والماء الخفيف هو المادة المشرفة على التهدئة في المفاعل النووي NUR [2].

6-2 نظام التبريد

نظام التبريد يتكون أساسا من دائرة ابتدائية ودائرة ثانوية ومبادل حراري. كما يوضح الشكل (8-1).



الشكل (8-1): نظام التبريد [2].

✓ الدائرة الاولى (ابتدائية)

وهي تتكون من مضخة أفقية الطرد المركزي بدءا من المحرك الكهربائي وتكون جميع المواد فيها على اتصال مع المبردات والفولاذ المقاوم للصدأ. ويقدر تدفق ب $220 \text{ m}^3/\text{h}$ وبضغط 1.4 bar والمبادل من النوع الصفائحي حيث تدفق السوائل يكون ضد التيار، وهو يتألف من ألواح عمودية مفصولة عن بعضها البعض.

✓ الدائرة الثانوية

تتكون الدائرة الثانوية من مضخة الطرد المركزي مطابقة للمضخة الاولى باستثناء الفولاذ الطري بدلا من الفولاذ المقاوم للصدأ. ويقدر تدفق هذه الدائرة ب $210 \text{ m}^3/\text{h}$ وبضغط 2.4 bar ومن برج تبريد وهذا الأخير يتكون من محرك غير متزامن وزعانف وناشر للمياه وحوصلات الهوائية.

3- ابعاد ومواصفات المفاعل النووي NUR

جدول البيانات الموالي (1-1) يظهر الملامح الرئيسية للمفاعل النووي NUR.

الجدول (1-1): المواصفات الأساسية للمفاعل النووي NUR. [2]

Système refroidissant

Débit	$220 \text{ m}^3/\text{h}$
Ecart maximum de température :	4°C
Type de l'échangeur de chaleur :	Plaque
Type de la tour refroidissant :	Convection forcée
Conductivité fondamentale du système :	1 micro ohm / cm
PH :	Neutre

Ecrans de protection**Bouclier Thermique**

Axial	7 m d'eau
Radial	1.2 m d'eau

Bouclier Biologique

Epaisseur béton ordinaire	15 cm
Epaisseur béton lourd	193 cm
Densité béton ordinaire	2.2 g / cm^3
Densité béton lourd	3.5 g / cm^3

Piscine du réacteur	
Hauteur	9.7 m
Diamètre	3 m
Matière	Acier inoxydable
Epaisseur de l'acier	6 mm
Le cœur	
Puissance	1 Mw
Nombre d'éléments combustibles standard	12
Nombre d'éléments combustibles de contrôle	5
Composition du cœur (en poids) :	
Aluminium	50.40%
Hydrogène	3.02%
Oxygène	27.50%
²³⁵ U	3.76%
²³⁸ U	15.32%
Densité du cœur	2.06 g cm ³
Eléments combustibles standard	
Nombre de plaques standard	19
Largeur active	0.60 cm
Hauteur active	61.5cm
Epaisseur de la gaine	0.04cm
Largeur de l'élément combustible	7.6 cm
Epaisseur du « meat » combustible	0.07 cm
Epaisseur de l'élément combustible	8.01cm
Epaisseur de la paroi	0.5cm
Distance entre plaques	0.27cm
Pas entre plaques	0.42cm
Masse de l'U235 par élément combustible	290.950g
Densité de l'uranium	3g / cm ³
Densité de l'Aluminium	2.7 g / cm ³
Densité de l'eau	1g /cm ³
Densité de l'U ₃ O ₈	8.4g / cm ³
Eléments combustibles de contrôle	
Nombre des plaques combustibles	14
Nombre des plaques absorbantes	2
Epaisseur de la plaque absorbante	0.325 cm
Largeur de la plaque absorbante	6.20 cm
Nombre de plaques de guidage	4
Matériau des plaques de guidage	Acier inoxydable
Densité de l'acier	8g /cm ³
Epaisseur des plaques de guidage	0.120 cm
Distance : plaques de guidage - plaques combustibles	0.20 cm
Epaisseur des plaques absorbantes :	2.6 mm
Modérateur	
Hydrogène	0.1118 g / cm ³
Oxygène	0.8882 g / cm ³
Réflecteur	
Matériau	Graphite
Densité	1.7g / cm ³
Matériau du caisson de gainage	Aluminium
Epaisseur de la paroi du caisson	0.3cm

المراجع

- [1] الدكتور محمد بن عبد الرحمان آل شيخ، أحمد بن نصر كداشي: 'مبادئ المفاعلات النووية'
- [2] LETAIM Fathi, ' Usure de combustible nucléaire dans un réacteur de recherche',
thèse de magistère, USTHB, Alger, 2007.
- [3] الدكتور محمد فاروق أحمد، الدكتور احمد محمد السريع: فيزياء مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية
منها (8). جامعة الملك سعود المملكة العربية السعودية، الباب الاول، 2007.
- [4] مكي الحسيني، مدخل الى الفيزياء النووية، ديوان المطبوعات الجزائرية-الساحة المركزية-بن
عكنون-الجزائر، ص141-146، سنة الطبع 1991.
- [5] ممدوح فتحي عبد الصبور، 'الطاقة النووية وإنتاج الطاقة'، مجلة أسيوط للدراسات البيئية، العدد
الثاني والعشرون (جانفي 2002).
- [6] www.nuclear-power.net/nuclear-power/fission 10-04-2017
- [7] Karsten heeger , 'Lecture 21 Fission and Nuclear Energy Experimental Nuclear
Physics PHYS 74', Friday, November 21st, 2008
- [8] j.u.burnham, Nuclear Theory - Course 127 FISSION, vol 127, pp 3-10, june, 1972
- [9] A. Halilou, ' INTRODUCTION AU DEVELOPPEMENT DE METHODES
ET THECHNIQUES POUR LE SUIVI DE L'EVOLUTION DU COEUR
DU REACTEUR NUR' Haut commissariat à la recherche, Alger, décembre
1998.
- [10] John A. Bernard, Reactor Physics – Part seven-Neutron Life Cycle, part7,
- [11] فاطمة عثمان محمود محمد، 'دراسة النيوترونات في مفاعل الانشطار النووي'، مذكرة ماجستير،
جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، السودان، ص 9-11، 2005
- [12] WALTER AMBROSINI, 'Lecture Notes for the Course on NUMERICAL
METHODS FOR NUCLEAR REACTORS', University of Pisa,
Italy, Unite6-part2.
- [13] C.J. Taubman, 'THE WIMS 69-LIBRARY TAPE 166259'. AEEW-M1324,
1975.
- [14] E.Villarino, C.A, Lecot, 'CITVAPV3.1: REACTOR CODE
CALCULATION' INVAP, Nuclear Engineering division, Bariloche Rio
Negro-Argentina, 1995.

- [15] T.B.Fowler, D.R Vondy, G.W CUNNINGHAM 'A NUCLEAR REACTOR CORE ANALYSIS CODE: CITATION'. Revision 2, ORNL-TM-2496, 1972.
- [16] E.Villarino, 'POS_WIMS v2.0: PROGRAM TO CONDENSE AND HOMOGENIZE MACROSCOPIC CROSS SECTION FROM WIMS OUTPUT' INVAP, Nuclear Engineering
- [17] E.Villarino, C.A, Lecot, 'HXS v4.1: A MACROSCOPIC CROSS SECTION LIBRARY MANAGER' INVAP, Nuclear Engineering division, Bariloche Rio Negro-Argentina, 1995.
- [18] B.Meftah, T.Zidi, A.Bousbia-Salah 'NEUTRON FLUX OPTIMIZATION IN IRRADIATION CHANNELS AT NUR RESEARCH REACTOR' , Annals of Nuclear Energy 33, 1164-1175, 2006.
- [19] E.Villarino, 'MTR_PC v2.6: NEUTRONIC, THERMALHYDRAULIC AND SHIELDING CALCULATION ON PERSONAL COMPUTERS'. INVAP', Nuclear Engineering division, Bariloche Rio Negro-Argentina, 1995.
- [20] BENMANSOUR LAILA, 'ETUDE NEUTRONIQUE DE REACTEURS NUCLEAIRES ', thèse Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat, Université Mohammed V, Maroc, pp 3-16, 8 J u i n 1992
- [21] Keisuke Okumura, Yoshiaki Oka, and Yuki Ishiwatari, 'Nuclear Reactor Calculations ', DOI 10.1007/978-4-431-54898-0_2, Authors 2014
- [22] د. إبراهيم خميس، تطوير منظومة عربية للحسابات الفيزيائية-النيوترونية الخاصة بمفاعلات الأبحاث، هـ ط ذ س- هـ ن / ت ن ب ع 363، كانون الأول 2006
- [23] David Houcque, 'INTRODUCTION TO MATLAB FOR ENGINEERING STUDENTS ', Northwestern University, August 2005
- [24] www.mathworks.com.11-05-2017
- [25] عمر على أبو علة، 'دورة مكثفة في الماتلاب'، جامعة 7 أكتوبر، مصراته ليبيا.
- [25] Press, W. H., W. T. Numerical Recipes in C. Cambridge University Press, New York (1988)
- [26] Gurley, 'Numerical Methods Lecture 5 - Curve Fitting Techniques', CGN

3421 - Computer Methods,pp 89-102.

- [27] S. MELLAL,' AGEING MANAGEMENT EXPERIENCE AT NUR REACTOR ', NUR Reactor Division, Nuclear Research Center of Draria COMENA, Algiers.
- [28] Fathi Djouider,'Radiation Protection in the Operation of the Algerian Nuclear Research Reactor NUR', King Abdulaziz University, Jeddah 21589, Kingdom of Saudi Arabia,2008.
- [29] J.V. DONNELLY, 'WIMS-CRNL A USER'S MANUAL FOR THE CHALK RIVER VERSION OF WIMS', ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED, AECL-8955, January 1986 Janvier .
- [30] 'Neutron Poisons', National Academy for Nuclear Training, December 2014.
- [31] Marcel Dekker, 'Fundamental Atomic Data', Appendix A, 2002.
- [32] <https://www-nds.iaea.org/wimsd/pseudofp.htm>

المخلص:

تعتمد المفاعلات النووية الحرارية في انتاج الطاقة وكذا النظائر المشعة على ظاهرة الانشطار النووي لنواتي اليورانيوم U-235 والبلوتونيوم PU-239 ، لكن الانشطار النووي ومختلف التفاعلات النووية التي تحدث في قلب المفاعل تؤدي الى ظهور واختفاء مستمر لعدد غير محدود من النظائر بعضها ذو أهمية كبيرة في عمل المفاعل او بسبب تأثيره على الانسان والبيئة.

نهتم في هذا العمل بدراسة تطور مكونات الوقود النووي في مفاعل البحث (NUR) باستعمال برنامجي الحساب WIMS و CITVAP ثم تحليل النتائج المتحصل عليها وبلورتها بواسطة برنامجي MATLAB.

الكلمات المفتاحية: BURN-UP. انشطار نووي. مفاعل نووي. MATLAB. WIMS. CITVAP.

Résumé:

Les réacteurs nucléaires thermiques dépendent de la production d'énergie, ainsi que des isotopes radioactifs sur le phénomène de la fission nucléaire des noyaux de l'uranium U235 et le plutonium PU239, mais la fission nucléaire et les diverses réactions nucléaires qui se produisent dans le cœur du réacteur conduisant à l'apparition et la disparition d'un nombre continu et illimité d'isotopes, certains d'une grande importance dans le fonctionnement du réacteur, ou en raison de son impact sur l'homme et l'environnement.

Ce travail est intéressé à étudier l'évolution des composantes du combustible nucléaire dans le réacteur de recherche de (NUR) en utilisant les codes WIMS et CITVAP ensuite analyser les résultats obtenus et élaborés par le programme Matlab.

Mots-clés: BURN-UP. La fission nucléaire. Réacteur nucléaire. Matlab. WIMS