

## حساب التدفقات للمصادر النترونية $^{226}\text{Ra-Be}$ , $^{241}\text{Am-Be}$ , $^{252}\text{Cf}$ باستعمال الكود MCNP5-beta

د. م. نيقولا أبو عيسى\* و د. ماجدة نحيلي\*\*

### المخلص

استعمل الكود MCNP5-beta في هذا البحث لنمذجة مشع نتروني بارافيني، وحساب التدفقات النترونية التكاملية الناجمة عن المصادر النترونية  $^{252}\text{Cf}$  و  $\text{Ra-Be}$ ,  $\text{Am-Be}$  في قنوات المشع البارافيني.

دلّت نتائج الحساب أن التدفق النتروني الكلي في قنوات المشع البارافيني جميعها هو الأكبر في حالة استعمال المصدر  $\text{Am-Be}$ ، مقارنة بحالة استعمال المصدرين  $\text{Ra-Be}$  و  $^{252}\text{Cf}$ ، وأن نسبة التدفق النتروني الحراري للمصدر  $^{252}\text{Cf}$  (وتبلغ 82%) هي الأكبر مقارنة بمثيلتيها للمصدرين  $\text{Am-Be}$  و  $\text{Ra-Be}$  (وتبلغان 75% و 71.7% على الترتيب) في قنوات المشع البارافيني جميعها.

الكلمات المفتاحية: مشع نتروني، مصدر نتروني  $^{252}\text{Cf}$ ,  $\text{Ra-Be}$ ,  $\text{Am-Be}$ ، صفيحة كادميوم، تدفق نتروني، كود MCNP5-beta.

\* أستاذ، قسم الهندسة الطبية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

\*\* أستاذة، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق.

## Calculating the Fluxes of the Neutron Sources $^{226}\text{Ra}$ -Be, $^{241}\text{Am}$ -Be, $^{252}\text{Cf}$ Using MCNP5-beta

Dr. Nikola Abo Issa \* and Dr. Majida Nahili\*\*

### Abstract

The MCNP5-beta code was used in this research to calculate the neutron fluxes for the neutron sources Ra-Be, Am-Be and Cf which produced in the irradiation channels of the Paraffin neutron irradiator.

The calculated results show that the total neutron flux values in all of the irradiated channels are higher for the Am-Be neutron source than those obtained for the Ra-Be, Cf neutron sources, and the ratio of the thermal neutron flux of the Cf neutron source is higher (magnitude about 82%) than that obtained for the Ra-Be and Am-Be neutron source (magnitude about 75% and 71.7% respectively).

**Keywords:** Neutron irradiator, Neutron source Ra-Be, Am-Be, Cf, Cadmium plate, Neutron flux, Dose, MCNP5-beta code.

---

\* Associated prof., Department of Biomedical, Faculty of Mechanical and Electrical, Damascus University.

\*\* Prof, Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University.

## 1. المقدمة

النظائر:  $^{238}\text{Pu}$ ،  $^{228}\text{Th}$ ،  $^{227}\text{Ac}$ ،  $^{226}\text{Ra}$ ،  $^{210}\text{Po}$ ،  $^{241}\text{Am}$ ،  $^{242}\text{Cm}$  و  $^{244}\text{Cm}$ ،  $^{239}\text{Pu}$

تُستعمل المصادر النترونية استعمالاً واسعاً في العديد من التطبيقات بما فيها التنشيط النتروني [4] والجوانب التعليمية [5]، وفي عمليات المعايرة [6]. ولغايات المعايرة أوصت المنظمة الدولية للمعايير (ISO) باستعمال المصادر  $^{241}\text{Am-B}$ ،  $^{241}\text{Am-Be}$ ،  $^{252}\text{Cf}$  والمصدر  $^{252}\text{Cf}$  ذو المهدئ  $\text{D}_2\text{O}$  [7].

تحتوي المصادر  $^{239}\text{Pu-Be}$  كميات صغيرة من  $^{241}\text{Pu}$  تُزيد النتاج النتروني من خلال تفكك نوى  $^{241}\text{Pu}$  إلى  $^{241}\text{Am}$  المشع لجسيمات ألفا. ولذلك يلاحظ ازدياد النتاج النتروني مع الزمن في هذا النوع من المصادر النترونية [8].

تقتضي إجراءات المعايرة واتفاقيات الأمن والسلامة واستخدام المصادر النترونية في التطبيقات الممكنة معرفة المميزات الفيزيائية للمصدر النتروني: كقوة المصدر (النتاج النتروني)، والطيف النتروني وتأثير الظروف المخبرية عليه والجرعة الإشعاعية. وتفيد هذه المعلومات أيضاً في إجراءات تخزين وتدريب المصدر النتروني وتدريبها واستعماله في حالات العلاج الطبي.

## 2. الغرض من البحث

- نمذجة مشع نتروني بارافيني باستخدام الكود

،MCNP5-beta

- حساب التدفقات النترونية التكاملية في قنوات المشع

النتروني الناجمة عن المصادر النترونية ( $\text{Am-Be}$ )

و ( $\text{Ra-Be}$  و  $^{252}\text{Cf}$ ) باستعمال الكود MCNP5-

beta

- المقارنة بين التدفقات النترونية في قنوات المشع

النتروني للمصادر الثلاثة المعتمدة.

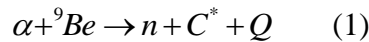
من المعلوم؛ أن النترونات تنتج في البيئة عن تفاعلات الأشعة الكونية مع نوى الغلاف الجوي، ومن التفاعلات النووية التي تحدث بين الجسيمات وبين بعض النوى في البيئة. وتنتج النترونات صناعياً بعمليات الانشطار والاندماج النووي في المسرعات والمفاعلات النووية وبالتفاعلات النووية، المحرصة بجسيمات ألفا أو أشعة غاما، أو من خلال الانشطار التلقائي [1, 2].

تملك النترونات توزيعاً طاقياً (أطيفاً) يمتد من عشرات eV إلى عدة GeV. وترتبط شدة التأثير البيولوجي للنترونات ارتباطاً قوياً بالتوزيع الطاقى وبناء على ذلك تُعد معرفة الطيف الطاقى من الأمور المهمة في قياس الجرعات الإشعاعية.

تتميز المصادر النترونية النظائرية بحجم صغير مضغوط (كبسولة محكمة الإغلاق) وبسهولة النقل والتعامل معها. وتنتج النترونات في هذا النوع من المصادر بتفاعلات نووية من نوع  $(\alpha, n)$  أو  $(\gamma, n)$  وفي هذه المجموعة أيضاً هناك المصادر النترونية التي تنتج النترونات بالانشطار الطوعي للنوى الثقيلة مثل  $^{252}\text{Cf}$  [3].

تنتج مصادر ألفا النترونية النترونات من خلال التفاعل

$(\alpha, n)$  كالمشار إليه في المعادلة (1):



إذ:  $Q \approx 5.7 \text{ MeV}$  طاقة التفاعل والحالة البينية

(المتوسطة) فيه هي تشكل النواة المركبة  $^{13}\text{C}$ ، وتنتج

النترونات وفق قنوات مختلفة. تُصنع مصادر ألفا النترونية

بخلط  ${}^9\text{Be}$  مع نظير مشع لجسيمات ألفا، وفضلاً عن

النظير  ${}^9\text{Be}$  هناك نوى أخرى تستعمل استعمالاً واسعاً

كأهداف مثل:  $^{10}\text{B}$ ،  ${}^7\text{Li}$ ،  $^{19}\text{F}$ ،  $^{13}\text{C}$  و  $^{18}\text{O}$ . وكمشعات

لجسيمات ألفا تستعمل في المصادر النترونية أيضاً

### 3. الكود MCNP [9, 10]

يعدّ كود MCNP (Monte Carlo N-Particle) المطور من قبل الفريق X-6 في مختبرات لوس ألاموس في الولايات المتحدة الأمريكية الركيزة الأساسية التي تقوم عليها الحسابات النترونية والفوتونية ويتميز الكود MCNP بإمكانياته المتعددة كحساب انتقال الإشعاع لأي نوع من المصادر المشعة سواء كانت مصادر عادية (sealed)، أو حرجة Critical من خلال نماذج فيزيائية لمختلف التفاعلات النووية المعرّفة ضمنه، والمرتبطة مباشرة بأحدث بيانات المقاطع العرضية (المكتبات المتوفرة في الكود ENDF/vi - ENDF/v). ويتميز الكود MCNP بقدرته على تعريف بنى هندسية معقدة. إذ يمكن نمذجة ما يصل إلى 26 سطحاً من الدرجة الأولى والثانية والرابعة فضلاً عن إمكانية تعريف سطوح عشوائية (باستعمال نقاط). يجري تتبع الأخطاء المرتكبة في التوصيف الهندسي من خلال عرضها، والإشارة إلى مواضع الخطأ مما يسهل المهمة أمام المستخدم.

إن اعتماد الكود MCNP على طرائق مونت كارلو يُمكنه من إجراء حسابات دقيقة من خلال إعتيان عشوائي لعدد من البارامترات الفيزيائية والعدادات (Tallies) متاحة في الكود) المختلفة التي تؤدي مثلاً دور حساب تدفق الجسيمات، وعدد الجسيمات الناتجة عن تفاعل ما مما يؤهله لتنفيذ عدد كبير من الحسابات الخاصة بمسائل التدرّج، وحسابات الحرجية، وحسابات الجرعات الإشعاعية في التطبيقات الطبية بأنواعها.

يتضمن الكود MCNP عدداً من مكتبات المقاطع العرضية لتفاعل الإشعاع مع المادة حيث تتوفر معلومات كافية للعناصر من  $Z=1$  إلى  $Z=98$ . يحاكي الكود MCNP انتقال النترونات والفوتونات في مجالي الطاقة:  $(10^{-11}-20)\text{MeV}$  و  $(10^{-3}-100)\text{MeV}$  على الترتيب،

وتتميز النسخة MCNP5-beta بإمكانية التعامل مع الكود من خلال نافذة مزودة بواجهة لإدخال المعطيات وللرسم البياني.

#### 4. توصيف المشع النتروني

يتكون المشع النتروني من جزأين رئيسيين:

- حاوية فولاذية مملوءة بمادة صلبة من مهدئ البارافين،
- مصدر نتروني.

##### 1.4. الحاوية الفولاذية

هي حاوية مصنوعة من الفولاذ (سمك 4mm) على شكل متوازي مستطيلات (أبعاده  $50 \times 50 \times 60 \text{ cm}^3$ ). تضم الحاوية بداخلها مهدئاً من البارافين يحوي بدوره 10 قنوات للتشعيع أسطوانية الشكل مبطنة ببطانة من الفولاذ (بسمك 1mm) قطر كل منها 2.2cm، وعلى فجوة على شكل متوازي مستطيلات ذات بطانة من الفولاذ (بسمك 1mm) مخصصة لإدخال صفيحة من الكاديوم. تتوزع 5 قنوات (4, 5, 6, 7, 8) حول المصدر النتروني على محيط دائرة نصف قطرها 10 cm في حين تقع ثلاث قنوات (9,12,13) على المحور ox وتبعد مسافة 15, 20, 25 cm عن المصدر، وهناك قناتان أخريان (10, 11) تبعدان مسافة قطرية 20, 25 cm من المصدر النتروني، كما هو موضّح في الجدول (1) والشكل (1).

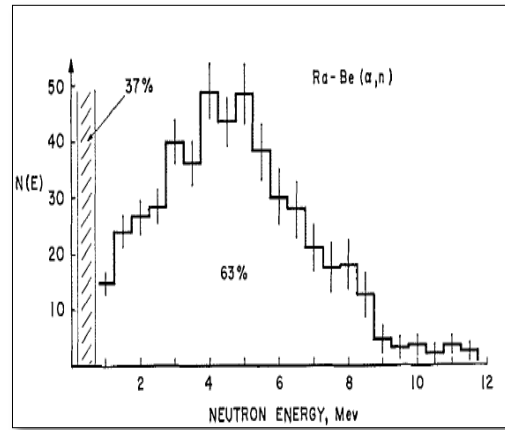
##### 2.4. المصادر النترونية

###### 1.2.4. المصدر $^{226}\text{Ra}$ - $^9\text{Be}$

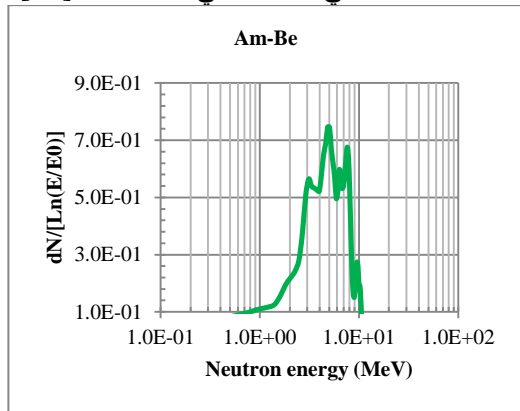
يتكون مصدر النترونات Ra-Be، من خليط متجانس من النظيرين  $^{226}\text{Ra}$  و  $^9\text{Be}$  ويكوّن البيريليوم أغلب مادته، وتتسأ النترونات من المصدر Ra-Be نتيجة للتفاعل  $^{12}\text{C}(\alpha, n)^9\text{Be}$  الذي يجري تحت تأثير الجسيمات ألفا المنبعثة من  $^{226}\text{Ra}$  ووليداته في  $^9\text{Be}$ . يتميز المصدر Ra-Be بطيف نتروني مستمر يقع 63% منه في مجال

النترونات السريعة (0.75-12) MeV وبطاقة وسطية Ra-Be (4-5)MeV. ويكون الناتج النيوتروني للمصدر  $^{241}\text{Am}$  ثابتاً مع الزمن عملياً K وذلك لكبير عمر النصف للراديو، ومن عيوب هذا المصدر إصداره القوي لأشعة غاما. ويوضح الشكل (1) طيف مصدر النيوترونات Ra-Be المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [11].

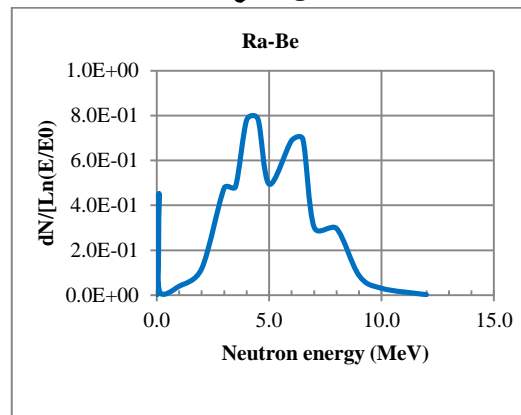
يتكون مصدر النيوترونات Am-Be من خليط متجانس من النظيرين  $^{241}\text{Am}$  و  $^9\text{Be}$ ، ويكون  $^9\text{Be}$  أغلب مادته. وتتسأ النيوترونات من المصدر Am-Be نتيجة للتفاعل  $^{12}\text{C}(\alpha, n)^{13}\text{C}$  الذي يجري بواسطة جسيمات ألفا المنبعثة من  $^{241}\text{Am}$ . يتميز المصدر Am-Be بطيف نيوتروني مستمر يقع 98% منه في مجال النيوترونات السريعة (0.1-10.8) MeV وبطاقة وسطية 5.48MeV وبأن نسبة إصدار فوتونات غاما إلى إصدار النيوترونات هي 59.6%. ويوضح الشكل (2) طيف مصدر النيوترونات Am-Be المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [13].



(a) وفق المرجع [11]



الشكل (2) الطيف النيوتروني للمصدر Am-Be



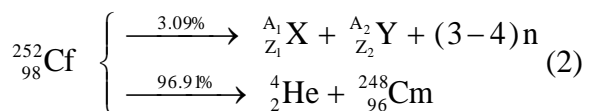
(b) المستعمل في المحاكاة في هذا البحث

الشكل (1) الطيف النيوتروني للمصدر Ra-Be

يضم الراديو ووليداته خمسة نظائر مشعة لجسيمات ألفا (تتغير طاقتها من 4.8 إلى 7.7 MeV) ويبلغ متوسط طاقتها 5.8MeV، وهذه الطاقة كافية للتغلب على الحاجز الكموني لنوى  $^9\text{Be}$  (يبلغ ارتفاعه نحو 4.0MeV) وتتأثر جسيمات ألفا مع إلكترونات ذرات  $^9\text{Be}$  وتفقد جزءاً من طاقتها، وتتباطأ وتصبح طاقتها أقل من 4.0MeV، ولذلك لا تستطيع جسيمات ألفا جميعها أن تثير التفاعل

### 3.2.4 المصدر $^{252}\text{Cf}$

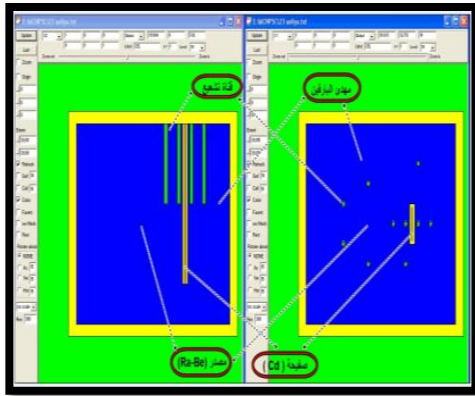
يشع نظير الكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$  النيوترونات وأشعة غاما والجسيمات بيتا وألفا. يتفكك  $^{252}\text{Cf}$  بعمر نصف مشترك (2.645 Y) وفق قناتين: إصدار ألفا (باحتمال 96.91%) وانشطار طوعي (باحتمال 3.09%)، كما في المعادلة (2) [14]:



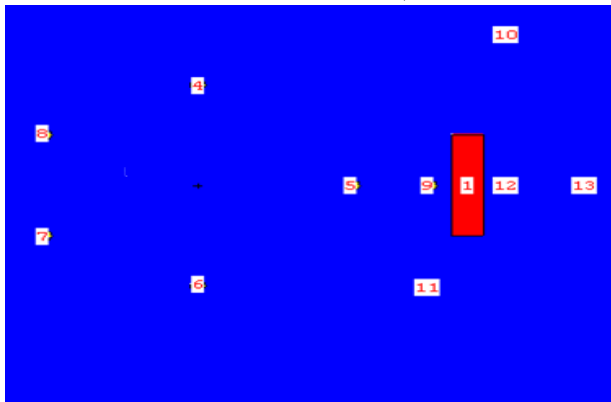
وطيف نيوترونات الانشطار الطوعي للمصدر  $^{252}\text{Cf}$  يتشابه مع طيف الانشطار في المفاعل النووي من حيث

### 5. نمذجة المشع النتروني

استعمل الكود MCNP5-beta لنمذجة مشع نتروني بارافيني، ويوضح الشكل (4) رسماً تخطيطاً للمشع (مصدر نتروني، مهدئ بارافيني) المعتمد لحساب التدفقات النترونية في قنوات التشعيع وفي صفيحة الكادميوم، وقد اعتمد المصدر النتروني على شكل نقطي، ويقع في مركز جملة الإحداثيات الديكارتية التي ينطبق مركزها على مكان وجود المصدر داخل البارافين (على عمق 25cm عن الجانبي الأعلى للمشع، وعلى مسافة 35cm عن السطح الجانبي الأيمن و 25cm عن السطح الجانبي الأيسر للمشع).



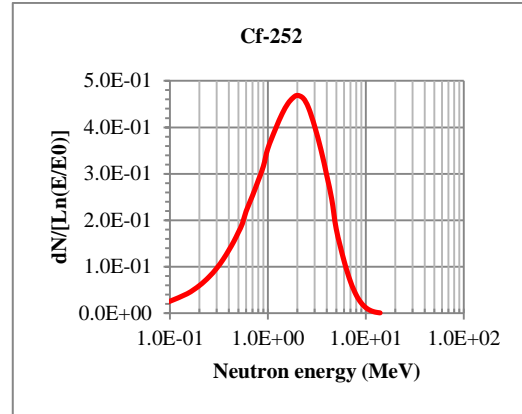
(a) رسم تخطيطي للمشع (مصدر نتروني نقطي، مهدئ بارافيني) باستعمال رسام الكود MCNP5-beta.



(b) أرقام قنوات التشعيع وصفيحة الكادميوم (1) وفق إدخالها في ملف دخل الكود MCNP5-beta.

الشكل (4)

الشكل وطاقتيه: الوسطى (2.1 MeV) والأكثر احتمالاً (0.7 MeV). يوضح الشكل (3) طيف مصدر النترونات  $^{252}\text{Cf}$  المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [13].



الشكل (3) طيف نترونات الانشطار الطوعي للكاليفورنيوم  $^{252}\text{Cf}$

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للمشع النتروني المستعمل في المحاكاة بالكود MCNP5-beta

الاسم	الشكل	الأبعاد $\text{cm}^3$	البعد عن المصدر النتروني cm	ملاحظات
الحاوية الفولاذية	متوازي مستطيلات	60x70x50		تحتوي مهدئ البارافين ( $\rho=0.904 \text{ g/cm}^3$ )
كادميوم	صفيحة	40x10x0.2	17.5	على المحور ox
رقم القناة				قنوات التشعيع وقطرها 2cm (حسب رقمها في المحاكاة)
4	أسطوانة	10		على المحور oy
5	أسطوانة	10		على المحور ox
6	أسطوانة	-10		على المحور oy
7	أسطوانة	-11.18		في المستوي xoy
8	أسطوانة	-11.18		في المستوي xoy
9	أسطوانة	15		على المحور ox
10	أسطوانة	25		في المستوي xoy
11	أسطوانة	18.023		في المستوي xoy
12	أسطوانة	20		على المحور ox
13	أسطوانة	25		على المحور ox

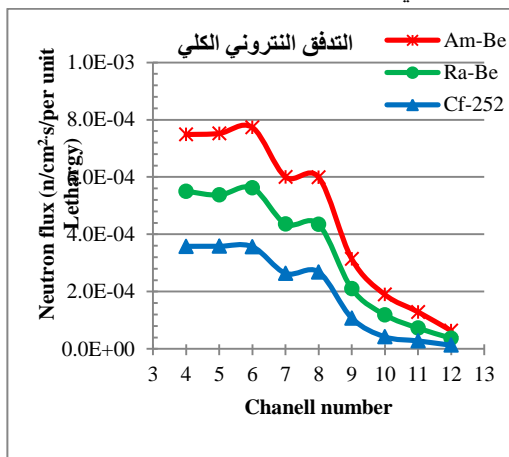
## 6. توصيف المصادر النeutرونية

$\Phi(\vec{r}, E, t)$  - التدفق النوتروني التكاملية للنترونات ذات

الطاقة  $E$  في النقطة  $\vec{r}$ ،

$dv$  - سرعة النوترون في المجال الطاقي  $dE$ ،

يوضّح الشكل (5) القيم الوسطية للتدفق النوتروني الكلي (سريع وفوق حراري وحراري) في قنوات المشع منسوبة لنترون واحد للمصادر النوترونية-Ra-Be, Am-Be,  $^{252}\text{Cf}$  Be، مُعبّرًا عنها بمتوسط وحدة الليثارجي لكامل الطيف النوتروني.



الشكل (5) التدفق النوتروني الكلي في قنوات المشع للمصادر النوترونية المعتمدة باستعمال الكود MCNP5-bet

يلاحظ من الشكل (5) أن التدفق النوتروني الكلي يتناقص في القنوات مع زيادة بعد القناة عن المصدر النوتروني، وأن قيم التدفق تكون في حالة استعمال المصدر Am-Be أكبر مما هي عليه في حالة المصدرين Ra-Be و  $^{252}\text{Cf}$ ، ويُفسر ذلك:

أولاً: باختلاف القيمة الوسطية لطاقة الطيف النوتروني للمصادر النوترونية الثلاثة، فهي نحو: 2.1MeV في حالة المصدر  $^{252}\text{Cf}$  (الشكل 3)، و (4-5)MeV في حالة المصدر Ra-Be (يقع 63% من الطيف النوتروني في مجال النوترونات السريعة (الشكل 1))، و 5.48MeV في

وصفت المصادر النوترونية المعتمدة باستعمال بطاقة تعريف المصادر SDEF المتاحة في الكود MCNP على شكل نقطي، ويقع في مركز جملة الإحداثيات المعتمدة في النمذجة (0,0,0). واستعملت البطاقة F4 لحساب التدفقات النوترونية التكاملية في قنوات التشعيع، وفي صفحة الكادميوم.

## 7. النتائج والمناقشة:

### 1.7. حساب التدفق النوتروني داخل قنوات المشع

1- وصفت المصادر النوترونية ( $^{252}\text{Cf}$ , Am-Be, Ra-Be) باستعمال بطاقة تعريف المصادر SDEF المتاحة في الكود MCNP على شكل نقطي.  
2- أدخلت أطياف المصادر ( $^{252}\text{Cf}$ , Am-Be, Ra-Be) في ملف الدخل باستعمال البطاقتين [13, 11] Si و Pi المتاحتين في الكود MCNP لتوصيف المصادر النوترونية [9].

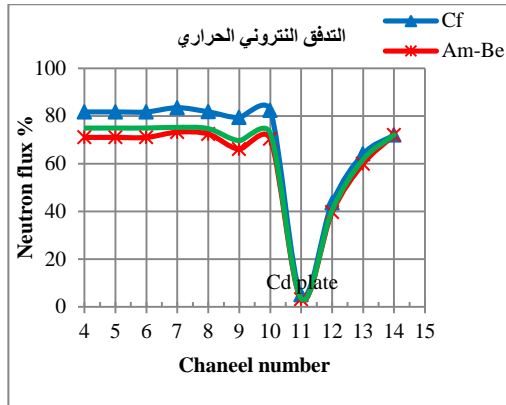
3- استعملت البطاقة F4 (track length estimate of the flux) المتاحة في الكود MCNP لحساب التدفق النوتروني التكاملية (السيولة fluence) في حجم القناة إذ تتناسب السيولة مع مجموع المسارات k ذات الطول  $L_k$  للنترونات ذات الطاقة  $E_j$  التي تعبر حجم القناة، كما هو موضح بالعلاقتين (3) و (4) [15]:

$$\Phi_j \sim \frac{1}{V} \times \sum_{k=1}^K L_k \times (E_j) \quad (3)$$

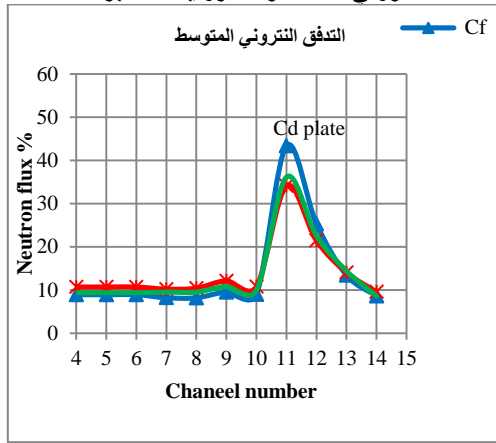
يُعبّر عن التدفق النوتروني التكاملية ( $\Phi_j$  cm<sup>-2</sup>) باستعمال البطاقة F4 وفق العلاقة الآتية:

$$F_4 = \int_V \int_t \int_E \Phi(\vec{r}, E, t) \times dE \times dt \times \frac{dv}{V} \quad (4)$$

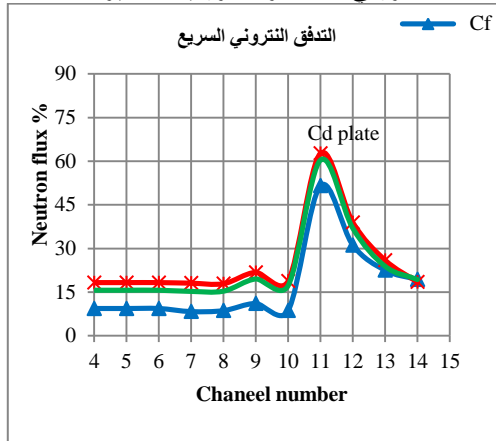
إذ: V - حجم قناة التشعيع.



الشكل (6) التدفق النتروني الحراري في قنوات المشع النتروني للمصادر النترونية المعتبرة



الشكل (7) التدفق النتروني المتوسط في قنوات المشع النتروني للمصادر النترونية المعتبرة



الشكل (8) التدفق النتروني السريع في قنوات المشع النتروني للمصادر النترونية المعتبرة

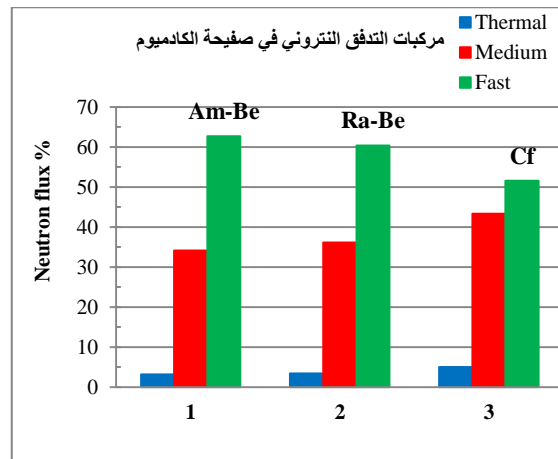
حالة المصدر Am-Be (يقع 98% من الطيف النتروني في مجال النترونات السريعة (الشكل 2))،  
وثانياً: بعملية التهئة التي تخضع لها النترونات في مادة البارافين، إذ تكون نسبة التهئة لنترونات المصدر  $^{252}\text{Cf}$  في نقاط قريبة من المصدر (في القنوات 4, 5, 6, 7, 8) أكبر مما هي عليه بالنسبة إلى المصدرين Ra-Be و Am-Be، وذلك لأن متوسط طاقة الطيف النتروني للمصدر  $^{252}\text{Cf}$  أصغر مما هي عليه بالنسبة إلى المصدرين Ra-Be و Am-Be ومنه فنسبة عملية التهئة لنترونات المصدرين الأخيرين تكون كبيرة في البارافين في النقاط الأبعد عن المصدر مقارنة بتلك العائدة للمصدر  $^{252}\text{Cf}$ ، وقد دلّ الحساب أن مركبات التدفق النتروني في القنوات (4, 5, 6, 7, 8) تملك القيم: في حالة المصدر  $^{252}\text{Cf}$  (حراري 82%، ومتوسط 8.6% وسريع 9.0%) وفي حالة المصدر Ra-Be (حراري 75% ومتوسط 9.5% وسريع 15.5%)، وفي حالة المصدر Am-Be (حراري 71.7% ومتوسط 10.5% وسريع 18.2%)، وهذا ما توضحه الأشكال (6-8).

ثالثاً: بعملية امتصاص النترونات الحرارية في البارافين التي تؤدي إلى انخفاض التدفق النتروني الكلي للمصدر  $^{252}\text{Cf}$  (الحراري 82%)، والمصدر Ra-Be (الحراري 75%) مقارنة بقيم التدفق النتروني الكلي للمصدر Am-Be (الحراري 71.7%)، كما هو موضح في الأشكال (6-8).



## 2.8. تأثير صفيحة الكادميوم في التدفق النيوتروني

استعمل الكود MCNP5-beta لحساب مركبات التدفق النيوتروني الكلي (حراري ومتوسط وسريع) في صفيحة الكادميوم للمصادر النيوترونية Am-Be, Ra-Be,  $^{252}\text{Cf}$ . يوضح الشكل (9) مقارنة بين مركبات التدفق النيوتروني التكامل الكلي في صفيحة الكادميوم للمصادر النيوترونية  $^{252}\text{Cf}$ , Ra-Be, Am-Be، ويلاحظ من هذا الشكل أن نسبة التدفق النيوتروني السريع في صفيحة الكادميوم تكون أكبر ما يمكن في حالة المصدر Am-Be، بينما تكون نسبة التدفق النيوتروني الحراري والمتوسط أكبر ما يمكن في حالة المصدر  $^{252}\text{Cf}$ ، ويُفسر ذلك تماماً بما ورد سابقاً.



الشكل (9) النسب المئوية لمركبات التدفق النيوتروني في صفيحة الكادميوم للمصادر النيوترونية المعتبرة

## 10. الاستنتاجات

- استعمل الكود MCNP5-beta في هذا البحث للمقارنة بين التدفقات النيوترونية الكلية الناجمة عن المصادر النيوترونية  $^{252}\text{Cf}$ , Ra-Be, Am-Be في قنوات مشع بارافيني وفي صفيحة الكادميوم وبيّنت نتائج الحساب:
- أن قيم التدفق النيوتروني الكلي في حالة المصدر Am-Be هي الأكبر مقارنة بتلك العائدة للمصدرين  $^{252}\text{Cf}$ , Ra-Be في قنوات المشع البارافيني جميعها.
  - أن قيم التدفق النيوتروني الحراري في حالة المصدر  $^{252}\text{Cf}$  هي الأكبر مقارنة بتلك العائدة للمصدرين Am-Be, Ra-Be في قنوات المشع البارافيني جميعها.
  - أن المصدر  $^{252}\text{Cf}$  هو الأفضل (مقارنة بالمصدرين Am-Be, Ra-Be) في حالة استعمال المشع البارافيني لتشجيع عينات مادية بالنيوترونات الحرارية.

## REFERENCES

- [12] Livin, V. E. (1979). "Nuclear Physics and Nuclear Reactor ", Book, p. 288.
- [13] International Standard ISO 8529, (2001). Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production. International Standard ISO 8529-1.
- [14] Martin, R. C., (2000). Californium-252 Newsletter, 4,1 Oak Ridge National Laboratory, January.
- [15] Nahili. M., (2015). "Calculation of the reaction rate and energy response matrix of a neutron spectrometry consisting of a Polyethylene sphere of variable diameter and  $\text{BF}_3$  detector using the MCNP5-beta code", journal of Damascus University for Fundamental Sciences, V (31), N-1.
- [1] Vega-Carrillo, H. R., Manzanares- Acuña E., (2004). Background neutron spectrum at 2420 m above sea level. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 524: 146-151.
- [2] Vega-Carrillo, H.R., Torres-Muhech. C., (2002). Low energy neutrons from a  $^{239}\text{Pu}$ Be isotopic neutron source inserted in moderating media. Revista Mexicana de Fisica 48: 405-412.
- [3] Garg AN; Batra RJ. (1986). Isotopic neutron sources in neutron activation analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles 98: 167-194.
- [4] Naqvi. A. A., Al-Nagadi. M. M., (2004). Performance comparison of an  $^{241}\text{Am}$ Be neutron source-based PGNA set up with the KFUPM PGNA set up. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 260: 641-646.
- [5] DuBard, J.L., Gambhir. A., (1994). Dust off the neutron howitzer to teach nuclear physics. American Journal of Physics 62: 255-257.
- [6] Józefowickz, K., Golnik., N., Tulik, P., Zielczynski, M., (2007). Radionuclide neutron sources in calibration laboratory - Neutron and gamma doses and their change in time. Radiation Protection Dosimetry 126: 134-137.
- [7] ISO. Reference neutron radiations, (2001). Characteristics and methods of production. International Organization for Standardization. ISO-Standard 8529.
- [8] NCRP, (1991). Calibration on survey instruments used in radiation protection for the assessment for ionizing radiation field and radioactive surface contamination. National Council on Radiation Protection and Measurements. Report No. 112. Bethesda MD.
- [9] Oak Ridge National Laboratory, (2000). "Rsicc Computer Code Collection MCNP4C"
- [10] Rayya, H., Nahili, M., and AL-Zawahera, S., (2015). "Interim dry storage cask design for spent nuclear fuel obtained from power reactor and studying it's radiation and criticality safety Using MCNP5C & GETERA codes ", journal of Damascus University for Fundamental Sciences, V (31), N-2
- [11] Geiger, K., Hum, W. R., and Jarvis, C. J. D., (1964). "Neutron Spectrum of a Ra-Be(a, n) Source", Division of Applied Physics, National Research Council of Canada Ottawa ",

Received	2015/12/17	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/11/21	قبول البحث للنشر