

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

د. نقولا أبو عيسى*

الملخص

استعمل كود النمذجة MCNP5-beta في هذا البحث لحساب الجرعة الإشعاعية الناجمة عن المصادر النترونية Am-Be و Ra-Be و Cf على سطح مشع بارافيني، ودلت نتائج الحساب:

1. أن التدفق النتروني على سطح المشع يكون في حالة المصدر Am-Be أكبر مما هو عليه في حالة المصدرين Ra-Be و Cf بنسبة 48.82% و 95.33% على الترتيب،
2. أن متوسط الجرعة الإشعاعية على سطح المشع النتروني في حالة المصدر Am-Be أكبر مما هي عليه في حالة المصدرين Ra-Be، و Cf بنسبة 14.79%، و 36.65% على الترتيب،
3. أن نسب الجرعة النترونية والفوتونية على سطح المشع هي 77.34% و 22.66% للمصدر Ra-Be و 84.60% و 14.40% للمصدر Am-Be، و 56.11%، و 43.89% للمصدر Cf. أخيراً يمكن أن نستنتج أن المصدر Cf هو الأفضل للاستخدام في المشع النتروني البارافيني لأن الجرعة الإشعاعية للمصدر Cf على سطح المشع هي الأقل مقارنة بالمصدرين Am-Be و Ra-Be.

الكلمات المفتاحية: مشع نتروني، مصادر ^{252}Cf ، Am-Be، Ra-Be، جرعة، كود MCNP5-beta.

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

Calculating the radiation doses of the neutron sources ^{226}Ra -Be, ^{241}Am -Be, ^{252}Cf using the MCNP5-beta code

Dr. Nikola Abo Issa *

Abstract

The general-purpose Monte Carlo modeling code MCNP5-beta was used in this research for calculating the radiation dose produced from Am-Be, Ra-Be and Cf neutron sources at the surface of a paraffin neutron irradiator. The calculation results show that:

1. The neutron flux at the surface of the irradiator for the Am-Be source is larger than for the Ra-Be or Cf sources, with ratios 48.82% and 95.33% respectively.
2. The average radiation dose at the surface of the irradiator from the Am-Be neutron source is larger than for the Ra-Be or Cf sources, by 14.79% and 36.65% respectively.
3. The neutron and photon dose ratios at the surface of the irradiator are 77.34% and 22.66% for the Ra-Be source, 84.60% and 24.17% for the Am-Be source, and 56.11% and 43.89% for the Cf source. Finally it was concluded that the Cf source is better for use in the paraffin neutron irradiator, because the dose at the surface of irradiator is the lowest compared with the Am-Be and Ra-Be sources.

Keywords: Neutron irradiator, sources ^{226}Ra -Be, ^{241}Am -Be, dose, MCNP5-beta code.

*Associated prof. in biomedical department Mechanical and Electrical faculty Damascus university.

1. المقدمة

وجد مبكراً أن البيريليوم يعطي أفضل نتاج نثروني مقارنة بالعناصر الخفيفة الأخرى، ولذلك بعد الخمسينيات كانت معظم المصادر النثرونية النظائرية مزيجاً من مشع طبيعي لجسيمات ألفا مع البيريليوم ولكن إلى جانب البيريليوم، استخدم في بعض المصادر النثرونية النظائرية الفلور واليور. ومع تطور الزمن تم الحصول على العناصر الانتقالية من نفايات الأسلحة النووية كالبوتونيوم ^{239}Pu والأميريسيوم ^{241}Am ، وصنعت لتكون مصادر نثرونية ذات ميزات جيدة (انخفاض إطلاق أشعة غاما ووفرة عالية ونصف عمر أقصر مقارنة بالمصدر ^{226}Ra) وتم إقصاء استخدام المصادر من النوع ^{226}Ra و ^{227}Ac [1].

وتحظى المصادر النثرونية باستخدام في مجالات عديدة، منها البحثية والصناعة النووية، والعسكرية، ولكن أدت الأوضاع السياسية والمخاوف الأمنية في السنوات الأخيرة إلى السعي وراء الحد من استخدام المصادر النثرونية النظائرية، واستبدل بهذه المصادر مصادر من النوع (d, t) ، وبالمسرعات كمصادر للنثرونات، ولكن مع فوائد هذه المصادر من النوعين الأخيرين إلا أن من عيوبها مقارنة مع المصادر النظائرية إعطاء نثرونات ذات طاقة عالية إلى جانب الحجم الكبير، والطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيلها [1].

2. الجرعة الإشعاعية للمصادر النثرونية [2]:

تطلق النثرونات من المصدر النثروني، وتكون سريعة، وتخضع في أثناء انتقالها في وسط مادي لعمليتي التبعثر المرن واللامرن، وتفقد جزءاً من طاقتها إلى أن تصل إلى التوازن الحراري، وتعرف هذه العملية بتهدئة النثرونات، أو أنها تهرب من المهدئ. تتميز المهدئات بكبر نسبة مقطع التبعثر إلى مقطع الامتصاص، عندئذ يصل عدد كبير من النثرونات، إلى المجال الحراري قبل امتصاصها في الوسط. تتكون المواد المهدئة الجيدة بشكل

يُعدّ تاريخ المصادر النثرونية تاريخاً للهندسة النووية الحديثة. اكتشف تشادويك النثرون في عام 1932 عندما قذف صفيحة من البيريليوم بجسيمات ألفا وبعدها حصل باحثون آخرون على النثرونات بقذف بعض العناصر الخفيفة بجسيمات ألفا المنبعثة من نكليدات مشعة لألفا (المصادر النثرونية النظائرية (α, n))، واستخدموا هذه النثرونات في بحوثهم إلى أن تم تصميم المفاعلات النووية المصادر الأقوى للنثرونات علماً أنّ المفاعلات تحتاج إلى مصدر نثروني لبدء تفاعل الانشطار النووي المتسلسل المدعم ذاتياً. ودون هذا النوع من المصادر النثرونية لما وجدت محطات الطاقة النووية في أيامنا هذه، ولتحولت التطبيقات النووية إلى مجرد فضول علمي مجرد. وكان مشروع مناهاتن في الحرب العالمية الثانية والحرب الباردة التي تبعته العصر الذهبي لتطور علم الطاقة النووية، حيث انخرط الباحثون حول العالم في تصميم التجارب وتنفيذها لفهم أفضل لبنية الذرة وتطلبت هذه التجارب مصادر ذات كفاءة جيدة للنثرونات، وتركز الجهد على دراسة المصادر النثرونية النظائرية وفهمها، فضلاً عن طرائق زيادة فعاليتها وأمنها وتخفيض كلفتها [1].

تكونت المصادر النثرونية الأولية من مزيج من الراديوم ^{226}Ra والبيريليوم حيث يتم امتصاص الجسيمات ألفا المنبعثة من الراديوم ووليداته في البيريليوم الذي يطلق بدوره النثرونات. ويعود الاستخدام الأولي للراديوم ^{226}Ra لأنه كان مدروساً دراسة جيدة كعنصر مشع، ولوفرته النسبية الجيدة مقارنة ببقية النكليدات المشعة لجسيمات ألفا عالية الطاقة، وأيضاً من النظائر المشعة التي استخدمت مبكراً كمصادر نثرونية البولونيوم ^{210}Po (وليد راديوم ^{226}Ra)، والنظير ^{227}Ac إلا أنّ مصدر الأكتينيوم كان نادر الاستخدام بسبب الندرة النسبية للنظير ^{227}Ac [1].

الناجمة عن التبعثر اللامرّن للنترونات السريعة على نوى الهيدروجين في البارافين عند طاقة النترونات $E > 10keV$. تنتج البروتونات وفق التفاعل ${}^1H(n_f, n')p$ ، وتودع طاقتها موضعياً.

3. الغرض من البحث

غرض البحث دراسة نظرية لتطوير مشع نتروني بارافيني من خلال حساب الجرعة الإشعاعية على سطحه في حالة استخدام ثلاثة مصادر نترونية: Ra-Be و Am-Be و Cf باستخدام الكود MCNP5-beta.

4. الكود MCNP [3, 4]

يعدّ كود MCNP (Monte Carlo N-Particle) المطوّر من قبل الفريق X-6 في مختبرات لوس آلاموس في الولايات المتحدة الأمريكية الرّكيزة الأساسية التي تقوم عليها الحسابات النترونية والفوتونية، إذ يتميز الكود MCNP بإمكانياته المتعدّدة على إجراء حساب لانتقال الإشعاع لأي نوع من المصادر المشعة سواءً كانت مصادر مختومة (sealed) أو حرجة (Critical) من خلال النماذج الفيزيائية لمختلف التفاعلات النووية المعرّفة ضمنه والمرتبطة مباشرة بأحدث بيانات المقاطع العرضية (ENDF/V-ENDF/Vi). ويتميّز الكود MCNP بقدرته على تعريف بنى هندسية متنوعة التعقيد إذ يمكن نمذجة ما يصل إلى 26 سطحاً من الدرجة الأولى والثانية والرابعة، فضلاً عن إمكانية تعريف سطوح عشوائية.

يعتمد الكود MCNP على طرائق مونتّي كارلو وتجري حسابات دقيقة ويأخذ عينات عشوائية لعدد من البارامترات الفيزيائية من خلال استعمال عدادات (Tallies) مختلفة تؤدي مثلاً دور حساب تدفق الجسيمات وعدد الجسيمات الناتجة عن تفاعل معين مما يؤهله لتنفيذ عدد كبير من الحسابات الخاصة بمسائل التدرّيع والحرجية والجرعات الإشعاعية.

رئيسي من الهيدروجين أو السديتيريوم أو البيريليوم أو الكربون أو الأكسجين. وفي مهدئ كالبارافين يؤسر جزء من النترونات الحرارية في ذرات الهيدروجين، ويعبر عن معدل الأسر $R(cm^{-3})$ بالعلاقة:

$$R = \varphi_{th} \sum_{(n,\gamma)} \exp(-\sum_a d) \quad (1)$$

اذ:

$\varphi_{th} (n/cm^2 s)$ - معدل التدفق النتروني الحراري،
 $\sum_{(n,\gamma)} (cm^{-1})$ - المقطع الجهري لإصدار أشعة غاما اللحظية وفق التفاعل (n, γ) ،
 $\sum_a (cm^{-1})$ - المقطع الجهري لامتناص النترونات،
 $d (cm)$ - المسافة التي يقطعها النترون داخل المهدئ قبل امتصاصه.

تُصدر المصادر النترونية (Ra-Be و Am-Be و Cf) طيفاً مستمراً من النترونات السريعة (كما هو موضّح في الأشكال 1 و 2 و 3)، وفي أثناء عملية التهئة في البارافين يتكون التدفق النتروني الكلي من جزء سريع، وجزء فوق حراري، وآخر حراري فضلاً عن أشعة غاما، سواءً الناتجة عن المصدر النتروني، أو عن أسر النترونات وتبعثرها في مادة البارافين. وهذا يولد جرعة إشعاعية ناتجة عن النترونات وأشعة غاما داخل المشع، وعلى سطوحه. وبناءً على ذلك تتكون الجرعة الكلية داخل المشع وعلى أسطحه من:

- جرعة أشعة غاما D_γ : وتشمل الجرعة الناجمة عن أشعة غاما المرافقة للنترونات المنطلقة من المصدر وكذلك أيضاً جرعة أشعة غاما ذات الطاقة $E_\gamma = 2.23 MeV$ الناتجة عن أسر النترونات الحرارية في نوى الهيدروجين وفق التفاعل ${}^1H(n_{th}, \gamma){}^2H$.
- جرعة النترونات السريعة، وتدعى عادةً جرعة الهيدروجين D_H : وتنجم عن البروتونات المرتدة

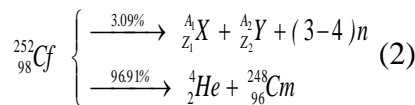
المنبعثة من ^{226}Ra ووليداته في ^9Be . يتميز المصدر Ra-Be بطيف نتروني مستمر يقع 63% منه في مجال النترونات السريعة (0.75-12) MeV، وبطاقة وسطية (4-5) MeV. يوضح الشكل (1) طيف مصدر النترونات Ra-Be المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [5]. يضم الراديوم ووليداته خمسة نظائر مشعة للجسيمات ألفا (تتغير طاقتها من 4.8 إلى 7.7 MeV)، ويبلغ متوسط طاقتها 5.8 MeV، وهذه الطاقة كافية للتغلب على الحاجز الكموني لنوى البيريليوم الذي يبلغ ارتفاعه 4.0 MeV تقريباً. [6].

2.2.5. المصدر ^{241}Am - ^9Be

يتكون مصدر النترونات Am-Be، من خليط متجانس من النظيرين ^9Be و ^{241}Am حيث يكون البيريليوم أغلب مادته. وتنشأ النترونات من المصدر Am-Be نتيجة للتفاعل $^{12}\text{C}(\alpha, n)^9\text{Be}$ الذي يجري بواسطة الجسيمات ألفا المنبعثة من ^{241}Am . ويتميز المصدر Am-Be بطيف نتروني مستمر يقع 98% منه في مجال النترونات السريعة (0.1-10.8) MeV وبطاقة وسطية 5.48 MeV وبأن نسبة إصدار الفوتونات غاما إلى إصدار النترونات هي 59.6%. ويوضح الشكل (2) طيف مصدر النترونات Am-Be المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [7].

3.2.5. المصدر ^{252}Cf

يتكون إشعاع الكاليفورنيوم ^{252}Cf من: نترونات وأشعة غاما، وجسيمات بيتا، وجسيمات ألفا. يتفكك Cf بعمر نصف مشترك (2.645Y)، وفق قناتين: الإصدار ألفا (باحتمال 96.91%) والانشطار التلقائي (باحتمال 3.09%)، كما في المعادلة [7](2):



يتشابه طيف نترونات الانشطار للمصدر Cf مع طيف الانشطار في المفاعل النووي من حيث الشكل

يتضمن الكود MCNP عدداً من مكتبات المقاطع العرضية التي تتضمن معلومات كافية لتفاعل الإشعاع مع المادة للعناصر من $Z=1$ إلى $Z=98$ ويحاكي انتقال النترونات والفوتونات في الأوساط المادية في مجال الطاقة: MeV (10⁻¹¹-20) MeV (10⁻³-100) على الترتيب.

5. توصيف المشع النتروني

يتكون المشع النتروني من جزأين رئيسيين:

- أ- حاوية معدنية مملوءة بمهدئ من مادة البارافين،
- ب- مصدر نتروني.

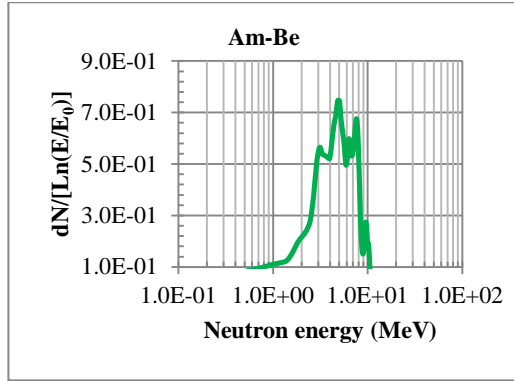
1.5. الحاوية المعدنية

الحاوية المعدنية مصنوعة من الفولاذ على شكل متوازي مستطيلات (50x50x60 cm³)، وتحوي بحجمها حجم مهدئ من البارافين الصلب (كثافته 0.904 g/cm³) الذي يحوي 10 قنوات للتشعيع أسطوانية الشكل مبطنة ببطانة من الفولاذ سمك كل منها وقطره على الترتيب 1mm، و 2.2 cm، وعلى فجوة على شكل متوازي مستطيلات لإدخال صفيحة من الكاديوم. تتوزع 5 قنوات (4, 5, 6, 7, 8) حول المصدر النتروني على محيط دائرة نصف قطرها 10cm في حين تقع ثلاث قنوات (9,12,13) على المحور ox وتبعد مسافة 15, 20, 25cm عن المصدر، وهناك قناتان أخريان (10, 11) تبعدان مسافة قطرية 20, 25 cm من المصدر النتروني، كما هو موضح في الجدول (1)، والشكل (1).

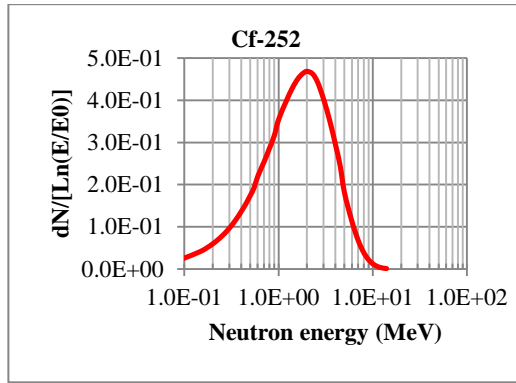
2.5. المصادر النترونية

1.2.5. المصدر ^{226}Ra - ^9Be

يتكون مصدر النترونات Ra-Be، من خليط متجانس من النظيرين ^9Be و ^{226}Ra حيث يكون البيريليوم أغلب مادته، وتنشأ النترونات من المصدر Ra-Be نتيجة للتفاعل $^{12}\text{C}(\alpha, n)^9\text{Be}$ الذي يجري تحت تأثير الجسيمات ألفا



الشكل (2) الطيف النوتروني للمصدر Am-Be



الشكل (3) طيف نوترونات الانشطار للكاليفورنيوم ²⁵²Cf

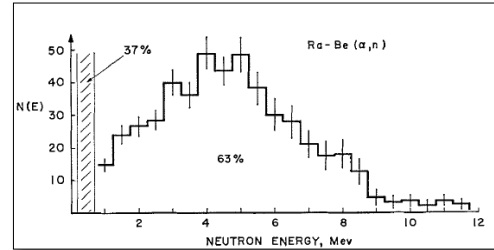
6. نمذجة المشع النوتروني

استعمل الكود MCNP5-beta لنمذجة المشع النوتروني، ويوضح الشكل (3) رسماً تخطيطياً للمشع (مصدر نوتروني، مهدئ البارافين) المعتمد لحساب الجرعات الإشعاعية في نقاط تقع على سطح المشع، حيث اعتمد المصدر النوتروني على شكل مصدر نقطي يقع في مركز جملة الإحداثيات الديكارتية (0,0,0) التي ينطبق مركزها على مكان وجود المصدر داخل البارافين (على عمق 25 cm عن السطح الأعلى للمشع وعلى مسافة 35 cm عن السطح الجانبي الأيمن و 25 cm عن السطح الجانبي الأيسر للمشع). جرى توصيف المصادر (Ra-Be و Am-Be و Cf) باستعمال بطاقة تعريف المصادر (SDEF (source definition) المتاحة في الكود MCNP.

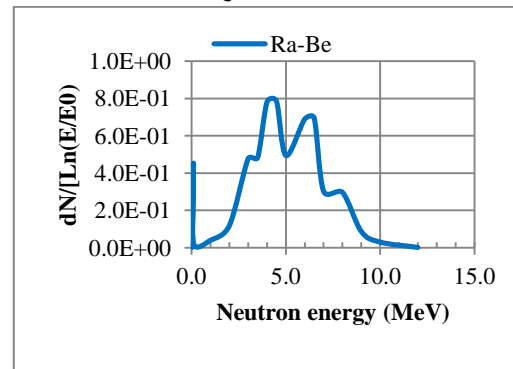
وطاقته الوسطى (2.1 MeV)، والطاقة الأكثر احتمالاً (0.7 MeV). يوضح الشكل (3) طيف المصدر Cf المستعمل في المحاكاة في هذا البحث [7].

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للمشع المعتمد في هذا البحث

الاسم	الشكل	الأبعاد cm ³	البعد عن المصدر النوتروني cm	ملاحظات
الحاوية الفولاذية	متوازي مستطيلات	60x70x50		تحتوي مهدئ البارافين (ρ=0.904 g/cm ³)
كادميوم	صفحية	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



(a) وفق المرجع [5]



(b) المستعمل في المحاكاة في هذا البحث

الشكل (1) الطيف النوتروني للمصدر Ra-Be

والجرعة النeutرونية في نقاط تقع على سطح المشع النتروني .

تملك البطاقة F5 الشكل الرياضي الآتي [4]:

$$F_5 = \int_V \int_E \Phi(\vec{r}, E, t) dE dt \quad (2)$$

اذ: $\Phi(n/cm^2.s)$ - التدفق النتروني،

$\vec{r}(cm)$ - شعاع موضع النترون،

$E(MeV)$ - طاقة النترون،

$t(sh)$ هو الزمن ($1 sh = 10^{-8} s$).

يُعبّر عن التدفق ϕ (في حالة المصدر النقطي)

بالعلاقة الآتية:

$$\phi = \frac{Q}{S} = \frac{A.N}{4\pi \times r^2} \quad (3)$$

اذ: $\phi(n/cm^2.s)$ - تدفق النترونات،

$Q(n/s)$ - قوة مصدر النترونات،

$A(1mCi = 37 \times 10^6 Bq)$ - نشاط المصدر،

N - نتاج النترونات وهو نحو

$4.6 \times 10^{-4} n/(s.Bq)$ لمصدر النترونات Ra-Be،

S - المقطع العرضي لسطح الكرة،

يُعبّر عن معدل جرعة النترونات من أجل مسافة

وطاقة ما بضرب تدفق النترونات بمعامل تحويل الجرعة

(Dose Conversion Factor (DCF)) ويساوي

$0.156 \mu rem/h$ لكل $(n/cm^2.s)$ من أجل الطاقة

$5 MeV$ [8] ومنه معدل الجرعة النترونية:

$$D_n = \frac{A.N}{4\pi \times r^2} \times DCF \quad (4)$$

تمثل البطاقة F5 معدل تفاعل الجسيمات في نقطة ما،

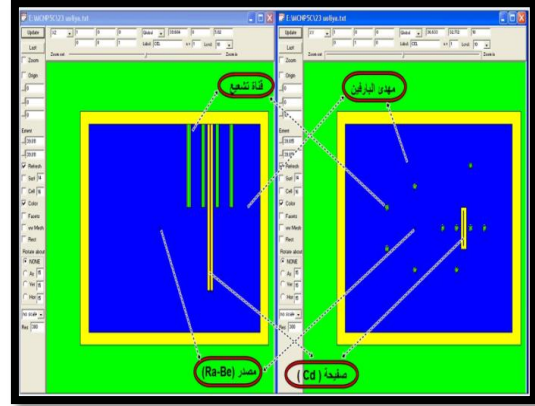
ومنه تستخدم هنا لتقدير التدفق التكاملية للجسيمات في

هذه النقطة، وتستخدم معها معاملات كيرما المتاحة في

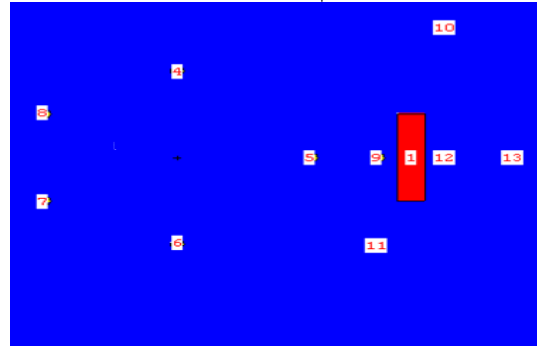
الكود MCNP لتحويل تدفق النترونات إلى جرعة نوترونية

(Neutron Flux-to-Dose Rate Conversion Factors)،

وتعطي هذه المعاملات في الجدول (2)[4].



(a) رسم تخطيطي للمشع (مصدر نوتروني نقطي ومهدئ بارافين) باستخدام رسام الكود MCNP5-beta.



(b) أرقام قنوات التشعيع وصفيحة الكاديوم (1) وفق إدخالها في

ملف دخل الكود MCNP5-beta.

الشكل (4)

7. النتائج والمناقشة:

1.7 حساب التدفق النوتروني الكلي والجرعة النوترونية

على سطح المشع:

1- وصفت المصادر النوترونية (Ra-Be, Am-Be,

Cf) في ملف دخل الكود MCNP باستخدام البطاقة

SDEF على شكل مصدر نقطي.

2- استعملت البطاقتان Si و Sp المتاحتان في الكود

MCNP[4] لإدخال الطيف الطاقي للمصادر (Ra-Be,

Am-Be, Cf).

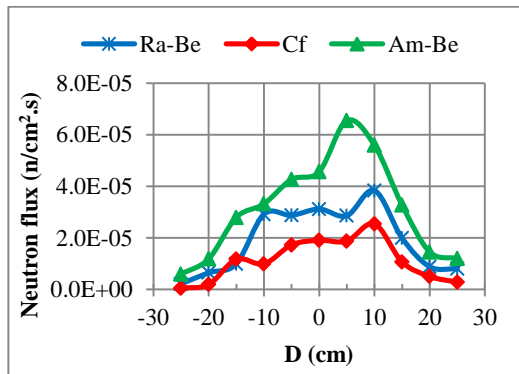
3- استعملت البطاقة F5 المتاحة في الكود

MCNP5-beta لحساب التدفق النوتروني التكاملية

الطيف النوتروني للمصدر Cf أصغر مما هي عليه بالنسبة الى المصدرين Ra-Be و Am-Be ومنه فنسبة عملية التهدة لنترونات المصدرين الأخيرين تكون كبيرة في البارافين في النقاط الأبعد عن المصدر مقارنة بتلك العائدة للمصدر Cf.

ثالثاً: بعملية امتصاص النوترونات الحرارية في البارافين مما يؤدي إلى انخفاض التدفق النوتروني للمصدرين Cf و Ra-Be مقارنة بقيم التدفق النوتروني الكلي للمصدر Am-Be. يوضح الشكل (6) قيم الجرعة النوترونية للمصادر النوترونية المعتبرة في نقاط تقع على سطح المشع النوتروني باستعمال الكود MCNP5-bet.

يلاحظ من الشكل (6) أن قيم الجرعة النوترونية الناجمة عن المصدر Am-Be أكبر مما هي عليه في حالة استعمال المصدرين Ra-Be و Cf، وأن للجرعة النوترونية قيم عظمى في النقاط على سطح المشع التي تقع بجوار موقع المصدر على المحور ox (بالنسبة للمصادر النقاط مع الابتعاد عن ox=0).



الشكل (5) التدفق النوتروني على السطح العلوي للمشع

الجدول (2) معاملات تحويل التدفق النوتروني إلى معدل جرعة نوترونية وفق معطيات ICRP-21

Energy [MeV]	DF(rem/h)/(n/cm ² .s)
2.8 x10 ⁻⁸	3.85 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻⁷	4.17 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻⁶	4.55 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻⁵	4.35 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻⁴	4.17 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻³	3.70 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻²	3.57 x10 ⁻⁶
1.0 x10 ⁻¹	2.08 x10 ⁻⁵
5.0 x10 ⁻¹	7.14 x10 ⁻⁵
1.0	1.18 x10 ⁻⁴
2.0	1.43 x10 ⁻⁴
5.0	1.47 x10 ⁻⁴
10.0	1.47 x10 ⁻⁴
20.0	1.54 x10 ⁻⁴

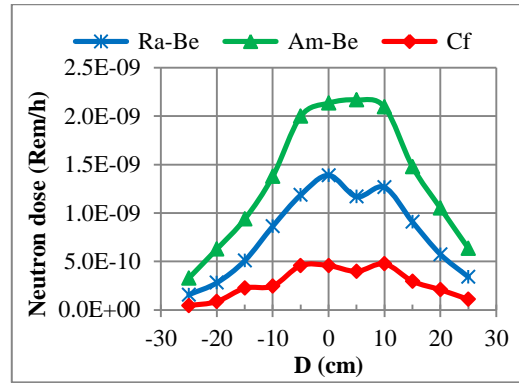
يوضح الشكل (5) قيم التدفق النوتروني للمصادر النوترونية Am-Be, Ra-Be, Cf في نقاط تقع على سطح المشع النوتروني البارافيني باستعمال الكود MCNP5-bet.

يلاحظ من الشكل (5) أن قيم التدفق النوتروني على سطح المشع أكبر في حالة المصدر Am-Be مقارنة بحالة استعمال كل من المصدرين Ra-Be و Cf ويفسر ذلك:

أولاً: باختلاف القيمة الوسطى لطاقة الطيف النوتروني للمصادر النوترونية الثلاثة إذ هي نحو: 2.1 MeV للمصدر Cf (الشكل 3)، و MeV (4-5) للمصدر Ra-Be (يقع 63% من الطيف النوتروني في مجال النوترونات السريعة (الشكل 1))، و 5.48 MeV للمصدر Am-Be (يقع 98% من الطيف النوتروني في مجال النوترونات السريعة (الشكل 2))،

وثانياً: بعملية التهدة التي تخضع لها النوترونات في مادة البارافين إذ تكون نسبة التهدة لنترونات المصدر Cf في نقاط قريبة من المصدر أكبر مما هي عليه بالنسبة إلى المصدرين Ra-Be و Am-Be، وذلك لأن متوسط طاقة

0.60	1.14×10^{-6}
0.80	1.47×10^{-6}
1.0	1.79×10^{-6}
1.5	2.44×10^{-6}
2	3.03×10^{-6}
3	4.00×10^{-6}
4	4.76×10^{-6}
5	5.56×10^{-6}
6	6.25×10^{-6}
8	7.69×10^{-6}
10	9.09×10^{-6}



الشكل (6) الجرعة النeutرونية على السطح العلوي للمشع

يلاحظ من الشكل (7) أن قيم التدفق الفوتوني تكون عظمى على سطح المشع البارافيني في النقطة $x=0$ التي توافق موضع المصدر النوتروني (يقع تحت المستوي $ox=0$ عند المستوي $ox=25cm$) وأن هناك تقارباً في قيم التدفق الفوتوني الناجمة على سطح المشع عن المصادر Ra-Be, Am-Be, Cf إذ يبلغ متوسط الفرق النسبي للتدفق الفوتوني للمصدر Ra-Be عن التدفق الفوتوني للمصدر Am-Be القيمة 1.54%، ويبلغ متوسط الفرق النسبي للتدفق الفوتوني للمصدر Cf عن التدفق الفوتوني للمصدر Am-Be القيمة 2.67%.

يوضح الشكل (8) قيم الجرعة الفوتونية للمصادر Ra-Be, Am-Be, Cf في نقاط تقع على سطح المشع النوتروني باستعمال الكود MCNP5-bet. يلاحظ من الشكل (8) أن قيم الجرعة الفوتونية تكون عظمى على سطح المشع في النقطة $x=0$ التي توافق موضع المصدر النوتروني وأن هناك تقارب في قيم الجرعة الفوتونية الناجمة على سطح المشع عن المصادر Ra-Be, Am-Be, Cf حيث يبلغ متوسط الفرق النسبي بين الجرعة الفوتونية للمصدر Ra-Be وبين الجرعة الفوتونية للمصدر Am-Be القيمة 1.60%، ويبلغ متوسط الفرق النسبي للجرعة الفوتونية للمصدر Cf عن الجرعة الفوتونية للمصدر Am-Be القيمة 3.56%. ويُفسر التقارب في قيم

1.7. حساب التدفق الفوتوني والجرعة الفوتونية على سطح المشع:

استعملت البطاقة F5 لحساب التدفق الفوتوني والجرعة الفوتونية في نقاط تقع على سطح المشع النوتروني. يعطي الجدول (3) معاملات تحويل التدفق الفوتوني إلى جرعة فوتونية (Photon Flux-to-Dose Rate Conversion) Factors[4]. يوضح الشكل (7) قيم التدفق الفوتوني للمصادر Ra-Be و Am-Be و Cf في نقاط تقع على سطح المشع باستعمال الكود MCNP5-bet.

الجدول (3) معاملات تحويل التدفق الفوتوني إلى معدل جرعة فوتونية وفق معطيات ICRP-21

Energy [MeV]	DF(E) (rem/h)/(ph/cm ² .s)
0.01	2.78×10^{-6}
0.015	1.11×10^{-6}
0.02	5.88×10^{-7}
0.03	2.56×10^{-7}
0.04	1.56×10^{-7}
0.05	1.20×10^{-7}
0.06	1.11×10^{-7}
0.08	1.20×10^{-7}
0.1	1.47×10^{-7}
0.15	2.38×10^{-7}
0.20	3.45×10^{-7}
0.30	5.56×10^{-7}
0.40	7.69×10^{-7}
0.50	9.09×10^{-7}

10. الاستنتاجات

استعمل كود النمذجة MCNP5-beta في هذا البحث لحساب الجرعة الإشعاعية الكلية (النترونية والفوتونية) الناجمة على سطح المشع عن المصدرين النظائريين Ra-Be و Am-Be والمصدر الانشطاري Cf وبيّنت نتائج الحساب:

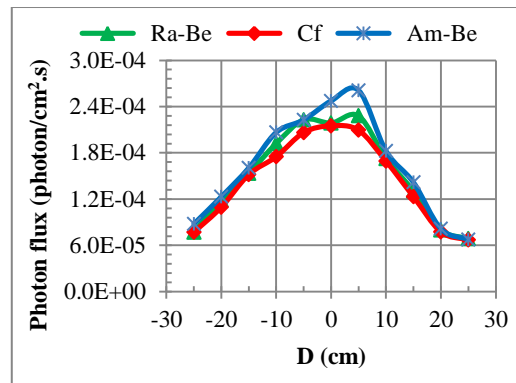
- أن التدفق النتروني على سطح المشع يكون أكبر في حالة المصدر Am-Be بنسبة 48.82% و 95.33% على الترتيب مقارنة بحالتي المصدرين Ra-Be و ^{252}Cf ،

- أن متوسط الجرعة الإشعاعية الكلية على سطح المشع النتروني أكبر في حالة المصدر Am-Be مقارنة بحالة المصدرين Ra-Be، و Cf بنسبة 14.79% و 36.65% على الترتيب،

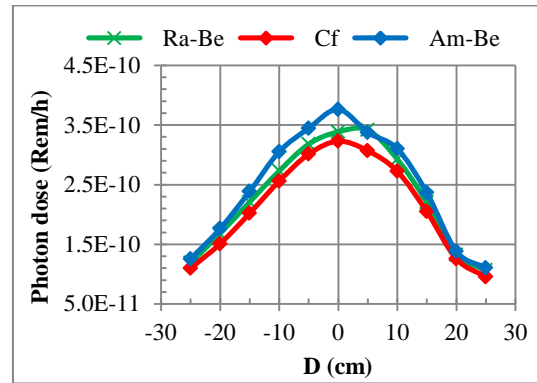
- أن متوسط المعدل السنوي للجرعة الإشعاعية على سطح المشع النتروني يساوي 0.15 mSv في حالة المصدر Am-Be، و 0.097 mSv في حالة المصدر Ra-Be، و 0.046 mSv في حالة المصدر Cf وذلك بفرض أن النشاط الإشعاعي لكل من المصادر المعتبرة هو 10^7 Bq، علماً أن المعدل السنوي للجرعة الإشعاعية المسموح بها للعاملين بالإشعاع هو (20.0mSv)، ولعموم الناس (1.0mSv).

- أن المصدر Cf هو الأفضل للاستخدام في المشع النتروني البارافيني لأن الجرعة الإشعاعية على سطح المشع هي الأقل مقارنة بالمصدرين Am-Be و Ra-Be.

الجرعة الفوتونية على سطح المشع للمصادر الثلاثة المعتبرة بأن إصدار أشعة غاما في المشع ينجم عن تهديئة النترونات في مادة البارافين ومنه أسر النترونات الحرارية في نوى الهيدروجين) وإصدار فوتونات غاما ذات الطاقة $E_\gamma = 2.23 \text{ MeV}$.



الشكل (7) التدفق الفوتوني على سطح المشع



الشكل (8) الجرعة الفوتونية على السطح العلوي للمشع

REFERENCES

- [1] Ryan Daniel Bechtel, (2007), "URANIUM-232 BERYLLIDE NEUTRON SOURCE", Master of Science in Nuclear and Radiological Engineering, Georgia Institute of Technology,
- [2] De-Oliveira1, K.A.M., Crispim1. V.R., Silva1,X., Fonseca, E. S, (2011) " Shielding of a neutron irradiator with ²⁴¹Am-Be source " International Nuclear Atlantic Conference - INAC Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28,
- [3] 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
- [4] Oak Ridge National Laboratory, (2000). "Rscic Computer Code Collection MCNP4C"
- [5] 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 "
- [6] Livin ,V.E., (1979). " Nuclear Physics and Nuclear Reactor ", Book, p. 288.
- [7] International Standard ISO 8529, (2001). Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production. International Standard ISO 8529-1.
- [8] NCRP-38 (NCRP, 1991b).

Received	2016/06/26	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/10/24	قبول البحث للنشر