

حساب معدل التفاعل ومصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء متغيرة القطر والكاشف BF_3 باستعمال الكود MCNP5-beta

خالد البشير⁽¹⁾ وماجدة نحيلي⁽²⁾ وسعدو الظواهره⁽³⁾

تاريخ الإيداع 2013/08/12

قبل للنشر في 2014/01/23

الملخص

استعمل الكود MCNP5-beta لحساب معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ ومصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء متغيرة القطر وكاشف للنترونات الحرارية من النوع BF_3 وذلك باستعمال منبع النترونات $^{241}Am-Be$ على شكل نقطي وقرصي، وبيّنت نتائج الحساب أن قيم معدل التفاعل ومصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي أكبر مما هي عليه لحالة منبع النترونات النقطي وبيّنت الحسابات أن مصفوفة الاستجابة الطاقية في حالة منبع النترونات القرصي تبلغ قيمة عظمى في حالة الكرة ذات القطر 12 inch ضمن مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} إلى 11.09 MeV، في حين تزداد قيمتها في حالة منبع النترونات النقطي. قورنت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي بنتائج حسابية منشورة فوجد أن التوافق بين النتائج جيداً.

الكلمات المفتاحية: مطيافية نترونية، الكاشف BF_3 ، مصفوفة الاستجابة الطاقية، منبع النترونات $^{241}Am-Be$ ، الكود MCNP5-beta.

(1) طالب دكتوراه، (2) أستاذة، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

(3) قسم الهندسة النووية، هيئة الطاقة الذرية، سورية.

Calculation of the reaction rate and response matrix of a neutron spectroscopy consisting of a water sphere of variable diameter and BF₃ detector using the MCNP5-beta code

K. Albashir⁽¹⁾, M. Nahili⁽²⁾ and S. AL-Zawahera⁽³⁾

Received 12/08/2013

Accepted 23/01/2014

ABSTRACT

The MCNP5-beta code was used to calculate the reaction rate $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ and the neutron energy response matrix of a neutron spectrometer consisting of a water sphere with variable diameter and detector BF₃ using point and disk neutron sources $^{241}\text{Am-Be}$. The reaction rate and the response matrix of disk neutron source shows higher value than these obtained from the point neutron source. The response of the matrix disk neutron source in the energy range from 4.14×10^{-7} to 11.09 MeV show a maximum value for sphere of 12 inch diameter, where the response with point neutron source stile increasing calculated value in this condition .The calculated values of neutron energy responses for a disk neutron source agreed well with published results.

Keywords: Neutron spectrometry; BF₃ detector ;energy response matrix; neutron source $^{241}\text{Am-Be}$; MCNP5-beta code.

⁽¹⁾ Ph.D., Student, ⁽²⁾ Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

⁽³⁾ Atomic Energy Commission, Damascus, Syria

المقدمة

ازدادت خلال السنوات الأخيرة تطبيقات النترونات في كافة المجالات (الفيزيائية، والطبية، والنفطية والبيولوجية والكيميائية.... إلخ) مما استدعى تطوير المطيافيات الإشعاعية (النترونية والفوتونية) المستعملة لقياس الجرعة الإشعاعية في أماكن عمل المنشآت النووية بهدف حماية العاملين وعدم تعريضهم لجرعة إشعاعية نترونية كبيرة؛ مما يحد من الأضرار الناتجة عن هذه النترونات [4-1].

ويعدُّ مطياف كرات بونر Bonner Spheres Spectrometer (BSS) المستعمل في مجال الوقاية الإشعاعية لقياس تدفق النترونات من المطياف النترونية الأولية التي استعملت في هذا المجال، إذ يتكون مطياف BSS من كاشف للنترونات الحرارية (وهو عبارة عن بلورة أسطوانية من مادة ${}^6\text{Li}(\text{Eu})$ أبعادها 4.0 mm x 4.0 mm) توضع في مراكز خمس كرات من البولي إيثيلين متغيرة القطر من 2 إلى 12 inch. وتستخدم هذه الكرات للحصول على مصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية وتعيين الأطياف والجرعات النترونية للمنابع الصادرة عنها النترونات [6, 5]. وقد طور المطياف BSS إذ أصبح ذا حساسية عالية للنترونات بدءاً من النترونات الحرارية إلى نترونات ذات طاقة من مرتبة GeV مع إمكانية التمييز بين النترونات والأشعة غاما [10-7]. ومن مساوئ BSS مقدرة الفصل المنخفضة بين النترونات والوزن الزائد.

أنواع المهدئات

تخضع النترونات فوق الحرارية والسريعة في أثناء انتقالها في مادة المهدئ إلى التبعثر المرن وغير المرن وفي أثناء ذلك تفقد جزءاً من طاقتها إلى أن تصل إلى طاقة التوازن الحراري. وعندها إما أن تمتص في المهدئ أو تنتسب إلى خارج حدوده، وتعرف هذه العملية بالتهديئة. ومن المواد المستعملة كمهدئ للنترونات الماء الثقيل والبيريليوم والغرافيت،..... إلخ [11].

إن المقدرة الجيدة للماء على تهديئة النترونات ووفورته في الطبيعة وفضلاً عن المعلومات المتراكمة عن خصائصه النترونية جعلت منه مهدئاً للنترونات واسع الانتشار، ولاسيما مفاعلات الطاقة والمنابع النترونية المستعملة لأغراض التجارب البحثية [13-11].

ولإقصاء مشكلة الوزن التي يعاني منها المطياف BSS اخترنا في هذا البحث الماء كمهدئ للنترونات بدلاً من البولي إيثيلين للأسباب الآتية:

- 1- سهولة نقل كرات المهدئ وهي فارغة،
- 2- سهولة الحصول على الماء في كل مكان وبكلفة غير باهظة،
- 3- يعدُّ الماء من المحلات الجيدة.

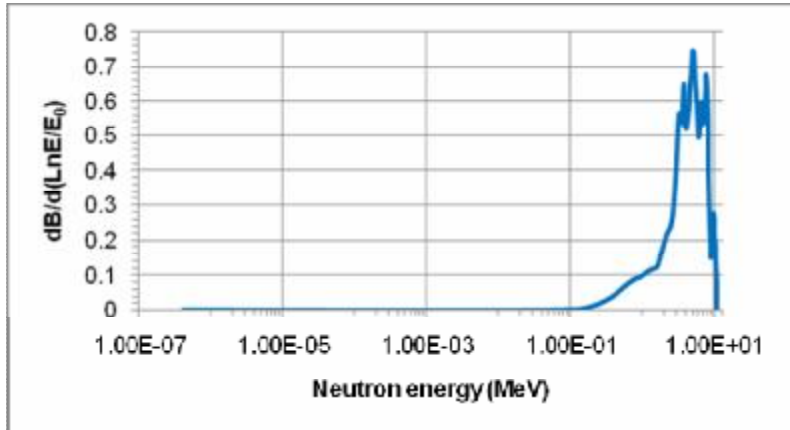
الهدف من البحث

يرتبط التقييم الدقيق لأجهزة قياس كمية الجرعة الإشعاعية في وسط معرض لمنبع مشع متعدد الطاقات، بتغير طيف المنبع المشع وشكله. وتتميز المطاييف الإشعاعية (نترونية وفوتونية) بأنها الطريقة الوحيدة التي يمكن بواسطتها فهم سلوك أجهزة قياس الجرعة الإشعاعية [14]. وفي إطار هذا العمل وجدنا أن من الضروري القيام بتوضيح تأثير تغير شكل منبع النترونات من نقطي (حزمة نترونية متباعدة) إلى قرصي (حزمة نترونية متوازية) في معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ وفي مصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء والكاشف BF_3 .

استعمل في هذا العمل الكود MCNP5-beta لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء متغيرة القطر وكاشف للنترونات الحرارية من النوع BF_3 ، في حالة استخدام منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي، وكذلك أيضاً لحساب مصفوفة الاستجابة الطاقية للنترونات في مجال الطاقة من $4.14 \times 10^{-7} \text{MeV}$ إلى 11.09MeV في حالة استخدام منبع نتروني على شكل نقطي وقرصي.

منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$

منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ هو خليط متجانس من النظيرين ^{241}Am و ^9Be ويكون البيريليوم أغلب مادته. وتتشأ النترونات من المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ نتيجة للتفاعل $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ الذي يجري بواسطة الجسيمات ألفا المنبعثة من ^{241}Am . ويتميز المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ بطيف نتروني مستمر يقع 98% منه في المنطقة السريعة (0.1-10.8) MeV، وبطاقة وسطي 5.48MeV ، وبأن نسبة إصدار الفوتونات غاما إلى إصدار النترونات هي 59.6%. ويوضح الشكل (1) طيف المنبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ المستعمل في هذه العمل [15].



الشكل (1) طيف النترونات الصادرة عن المنبع $^{241}\text{Am-Be}$.

توصيف المطيافية النترونية المستعملة في هذا العمل:

تتكون المطيافية النترونية المستعملة في هذا العمل من ثماني كرات من الماء متغيرة الأقطار (3.25, 4.2, 5, 6.5, 8, 10, 12 and 18 inch) ومحاطة بغلاف من الألمنيوم سمكه 2.0 mm مستخدمة لتهدئة النترونات ومن كاشف للنترونات الحرارية من النوع BF_3 (قطره 2.54 cm وطوله 28.20 cm وضغط الغاز المملوء بداخله 400 Torre). ويوضح الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF_3 المستعمل في هذه الدراسة.

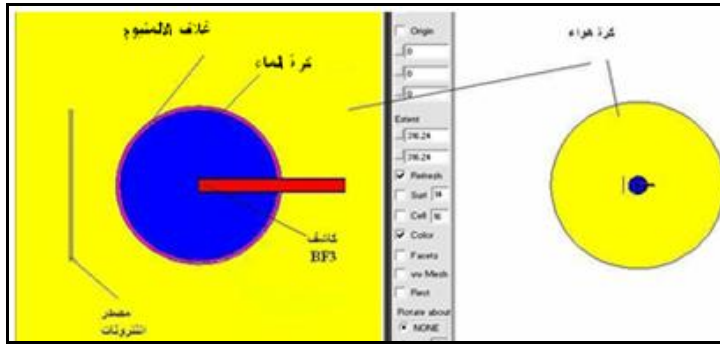
الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF_3 .

Cylindrical BF_3 neutron detector (mode LND 2210)	
Effective volume (cm^3)	142.89
Pressure (atm)	0.92
BF_3 composition (atom ratio)	96.0% ^{10}B , 1.0% ^{11}B and 3.0% 3F
Molecular weight (g/mol)	67.01

1. نمذجة المطيافية النترونية باستعمال الكود MCNP5-beta

يوضح الشكل (2) مقطعاً عرضياً للمطيافية النترونية (كرة الماء وكاشف BF_3) ومنبع النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي المستعمل لحساب معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ ومصفوفة الاستجابة الطاقية باستعمال الكود MCNP5-beta.

استعمل منبع النترونات $^{241}Am-Be$ على شكل قرص مهمل السمك وعلى شكل نقطي ويبعد مسافة 25.0 cm عن مركز كرة المهدئ، ووضع الكاشف BF_3 داخل كرة المهدئ موازياً لحزمة النترونات الصادرة عن المنبع القرصي بحيث تقع إحدى قاعدتيه في مركز الكرة مطابقاً للمحور ox.



الشكل (2) مقطع عرضي للمطيافية النترونية (كرة الماء، والكاشف BF_3) ومنبع النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي باستعمال الكود MCNP5-beta

2. حساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ لمنبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي

يعبر عن معدل تفاعل النترونات C_i لكاشف ما موضوع داخل الكرة i بالعلاقة الآتية [17]:

$$C_i = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} R_i(E) \Phi(E) dE \quad (1)$$

إذ: C_i - معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ للكرة i مع الكاشف BF_3 (count)،
 $\Phi(E)$ - تدفق النترونات مقدراً بالواحدة $(n/\text{cm}^2.s)$ ،
 $R_i(E)$ - مصفوفة الاستجابة للكرة i مقدرة بالواحدة cm^2 .

لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ لجملة كرات الماء والكاشف BF_3 في حالة استخدام منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي باستعمال الكود MCNP5-beta اتبع ما يأتي:

1- وضع الكاشف BF_3 (ارتفاعه 28.20 cm، وقطره 2.54 cm، ويحوي 96 % من نظير البور ^{10}B وضغط الغاز داخله 0.92 atm عند الدرجة 293 K° هذا الكاشف من نموذج LND-2210) في مركز ثماني كرات من الماء أقطارها 3.25, 4.2, 5, 6.5, 8, 10, 12 و 18 inch (من 8.225 إلى 45.72 cm) محاطة بغلاف من الألمنيوم سماكته 2 mm كما هو موضح في الشكل (2)، إذ وضع منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على مسافة 25 cm من مركز كرة الماء. وحُسبت كثافة الغاز داخل الكاشف BF_3 باستعمال القانون العام للغازات [18]:

$$PV=nRT \quad (2)$$

إذ: p - ضغط الغاز BF_3 (Pa)،

V - حجم الغاز BF_3 (m^3)،

n - عدد مولات الغاز BF_3 (mol)،

R - ثابتة الغازات العامة ($\text{N m K}^{-1}\text{mol}^{-1}$)،

T - درجة الحرارة المطلقة (Kelvin)،

تعطي نتيجة حساب كثافة الغاز داخل الكاشف BF_3 القيمة الآتية 0.002568 g/cm^3 لأن الوزن الجزيئي للغاز BF_3 هو 67.1 gr/mol.

2- وصف منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ باستعمال البطاقة SDEF المتاحة في الكود MCNP5-beta على شكل نقطي وقرصي مهمل السماكة، ووضع بشكل عمودي على المحور ox، ويصدر نيوترونات متعددة الطاقات بشكل منتظم ولها اتجاه واحد هو الاتجاه الموجب للمحور ox.

3- استعملت قيم الطيف النيوتروني لمنبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ في توصيف المنبع، إذ أدخلت هذه القيم في ملف الدخل باستعمال البطاقتين pi و si المتاحتين في الكود MCNP5-beta لتوصيف المنابع النيوترونية [15,19].

4- استعملت البطاقة F4 لحساب تدفق النيوترونات في الحجم الفعال للكاشف BF_3 ، إذ يتناسب تدفق النيوترونات مع مجموع المسارات k التي طولها L_k للنيوترونات ذات الطاقة E_j التي تعبر الحجم الفعال للكاشف كما هو موضح بالعلاقتين (3) و (4) [19]:

$$\Phi_j \propto \frac{1}{V_{\text{eff}}} \sum_{k=1}^K L_k (E_j) \quad (3)$$

ويحسب التدفق النيوتروني Φ_j (n/(cm²s)) باستعمال البطاقة F4 المتاحة في الكود MCNP5-beta من العلاقة الآتية:

$$F_4 = \int_{V_{\text{eff}}} \int_t \int_E \Phi(\mathbf{r}, E, t) dE dt \frac{dV}{V_{\text{eff}}} \quad (4)$$

إذ: $\Phi(\mathbf{r}, E, t)$ - تدفق النيوترونات ذات الطاقة E في النقطة \mathbf{r} ،

dV - سرعة النيوترونات في المجال الطاقوي dE،

V_{eff} - الحجم الفعال للكاشف BF_3 .

5- أخذ التكامل على حجم الكاشف كاملاً وضمن المجال الحراري للنيوترونات خلال مدة القياس t.

6- استعملت البطاقة Fm4 المتاحة في الكود MCNP5-beta لحساب عدد جسيمات ألفا الناتجة عن التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في حجم الكاشف BF_3 باستعمال العلاقة الآتية [19]:

$$r = N_B \times \sigma_B(E) \times \Phi_n \times V_{\text{eff}} \quad (5)$$

إذ: r(count) - معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ،

σ_B (barn) - مقطع العرضي للبور لامتصاص النيوترونات الحرارية،

Φ_n (n/cm²s) - تدفق النيوترونات الحرارية داخل الكاشف BF_3 .

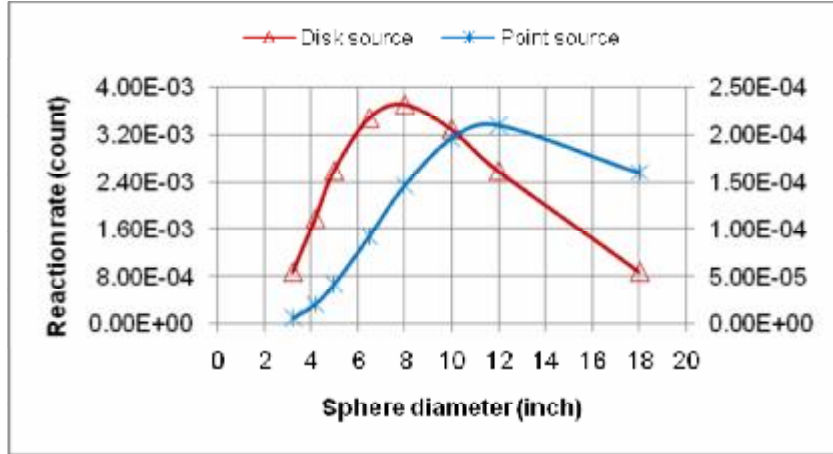
7- درست حالتان للمنبع $^{241}\text{Am-Be}$:

أ- حالة المنبع النقطي،

ب- حالة المنبع القرصي.

إذ عُدَّ في حالة المنبع القرصي أن النترونات تنتشر باتجاه كرة الماء على شكل حزمة متوازية مقطوعها يساوي نصف قطر كرة الماء.

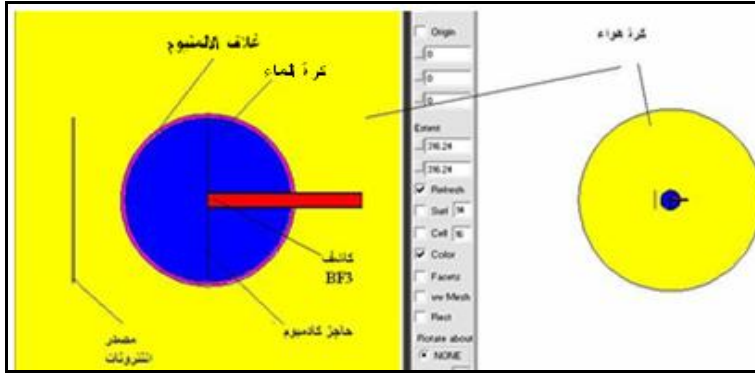
ويوضِّح الشكل (3) معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ للمطيافية النترونية المكونة من كرة من الماء والكاشف BF_3 كتابع لقطر كرة الماء في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ قرصي ونقطي.



الشكل (3) معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ كتابع لقطر كرة الماء في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ قرصي ونقطي.

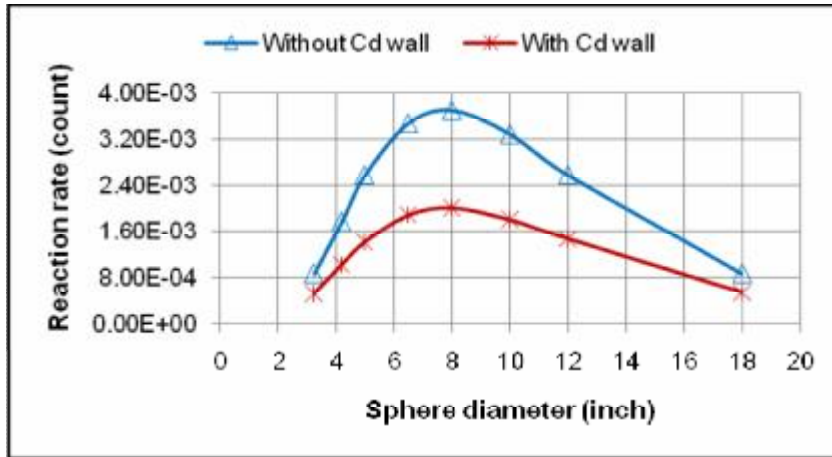
3. تأثير وجود حاجز من الكاديوم أمام الكاشف BF_3 في معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$

لحساب تأثير وجود حاجز من الكاديوم أمام الكاشف BF_3 في معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ نضع حاجزاً من الكاديوم سماكته 1mm أمام الكاشف مباشرة BF_3 (ارتفاعه يساوي قطر كرة الماء). أضيف حاجز الكاديوم إلى ملفات الدخل التي أُعدَّت في الفقرة السابقة لكرات الماء الثماني في حالة استخدام منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي، كما هو موضَّح في الشكل (4).

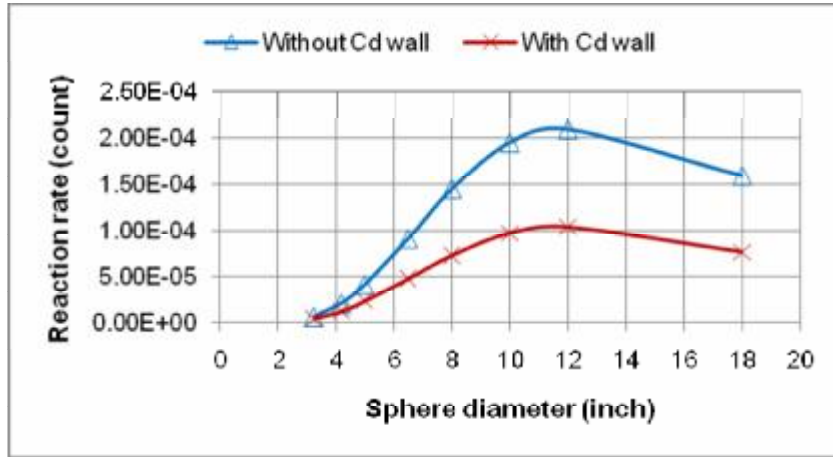


الشكل (4) مقطع طولي للمطيافية النيوترونية (كرات الماء، والكاشف BF3 وحاجز الكاديوم) باستخدام الكود MCNP5-beta.

ويوضح الشكلان (5) و(6) معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ كتابع لقطر كرة الماء بوجود حاجز الكاديوم وبعدم وجوده في حالة استخدام منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل قرصي ونقطي على الترتيب.



الشكل (5) معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ كتابع لقطر كرة الماء بوجود وعدم وجود حاجز الكاديوم في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ قرصي.



الشكل (6) معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ كتاب قطر كرة الماء بوجود وعدم وجود حاجز الكادميوم في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ نقطي.

حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء وكاشف النترونات BF_3 :

تعطى الاستجابة الطاقية لجملة كرة الماء وكاشف النترونات BF_3 عند تعريضها لحزمة نترونية متجانسة متوازية ومتماثلة بالطاقة بالعلاقة الآتية [20]:

$$R_i(E_n) = \sum_j \Phi_j a_s N_B V_{\text{eff}} \sigma(E_j) \quad (7)$$

إذ: $R_i(E_n)$ - استجابة الكرة i كتاب لطاقة النترون مقدرة بالوحدة (cm^2) ،

$\Phi_j (n/\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ - تدفق النترونات داخل الكاشف،

$a_s (\text{cm}^2)$ - مقطع سطح الكرة المقابل لمنبع النترونات،

$N_B (\text{atom}/(\text{ban} \times \text{cm}))$ - الكثافة الذرية للبور ^{10}B ،

$V_{\text{eff}} (\text{cm}^3)$ - الحجم الفعال للكاشف BF_3 ،

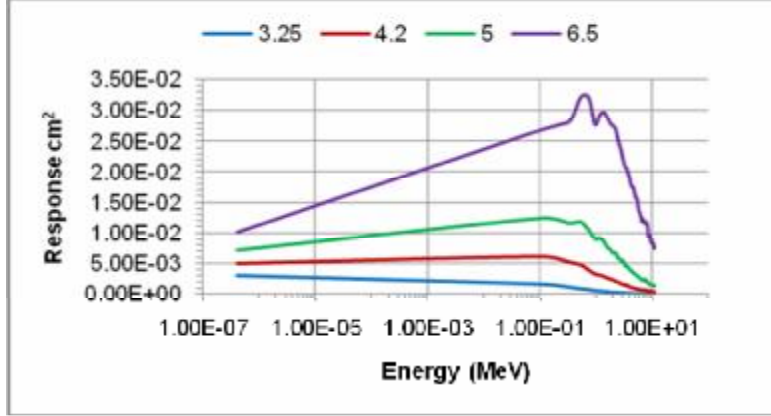
$\sigma(E_j)$ - المقطع العرضي للتفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ للنترونات ذات الطاقة $E(j)$

مقدراً بوحدة (cm^2) .

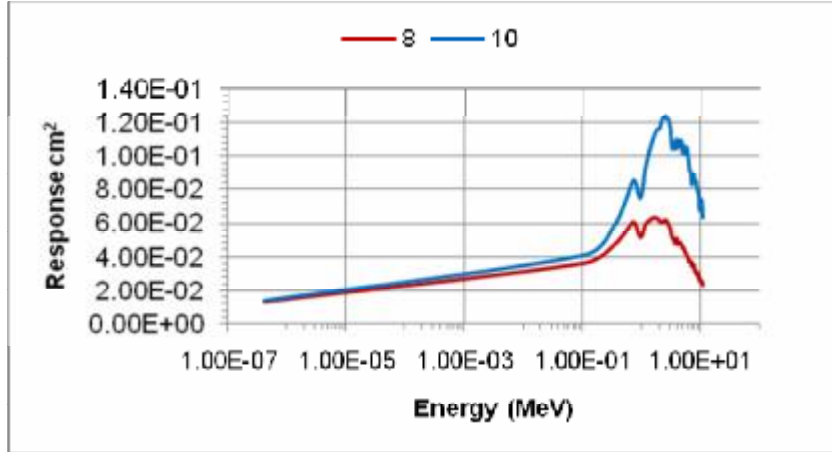
استعمل الكود MCNP5-beta لحساب مصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من الماء وكاشف النترونات BF_3 باستعمال التفاعل

$^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$. وصف المنبع النتروني على شكل قرصي ونقطي باستعمال البطاقة SDEF ويصدر نترونات متعددة الطاقات ضمن المجال 4.14×10^{-7} MeV إلى 11.09 MeV واستعملت البطاقتان F4 و Fm4 للحصول على تدفق النترونات ومعدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في الحجم الفعال للكاشف BF_3 على الترتيب.

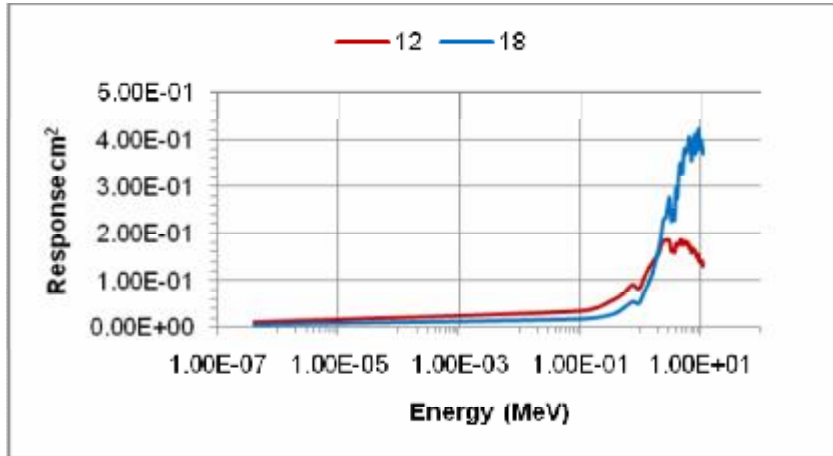
وتوضح الأشكال (7-a)، (7-b)، و(7-c)، و(8-a)، و(8-b) و(9) مصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء وكاشف النترونات BF_3 كتابع لطاقة النترونات في المجال الطاقى من 4.14×10^{-7} MeV إلى 11.09 MeV من أجل حالة منبع النترونات نقطي وقرصي على الترتيب.



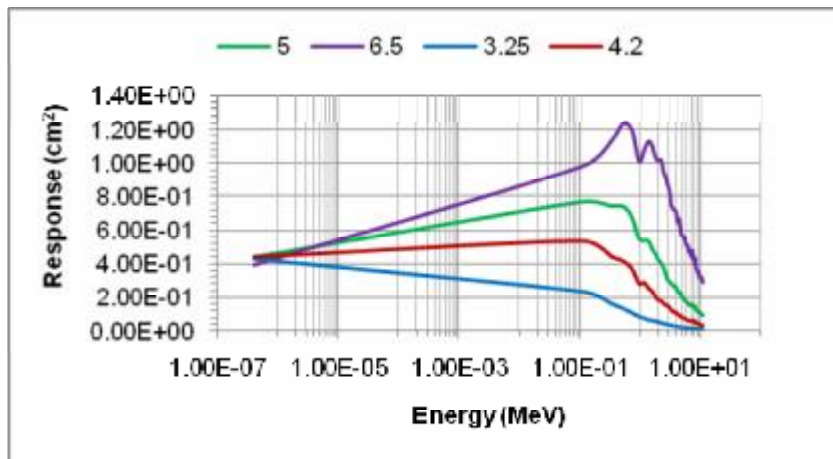
الشكل (7-a) الاستجابة الطاقية للكرات 3.25, 4.2, 5.0, 6.5 inch في حالة منبع النترونات نقطي



الشكل (7-b) الاستجابة الطاقية للكرتين 8, 10 inch في حالة منبع النترونات نقطي

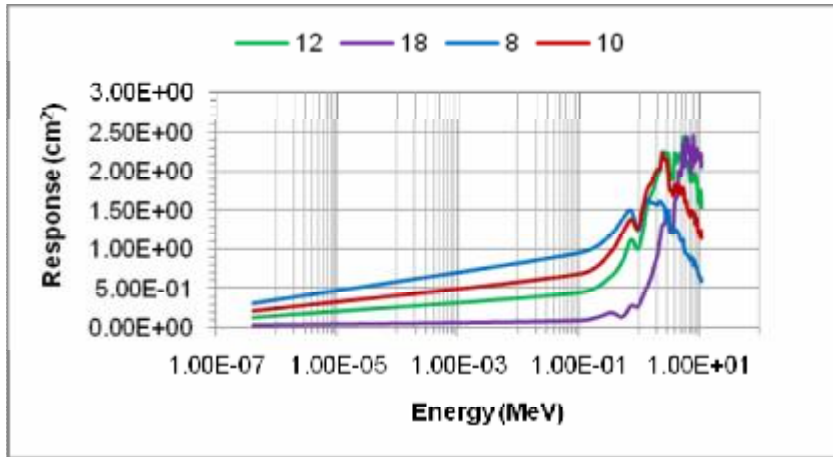


الشكل (7-c) الاستجابة الطاقية للكترين 12, 18 inch في حالة منبع النترونات نقطي

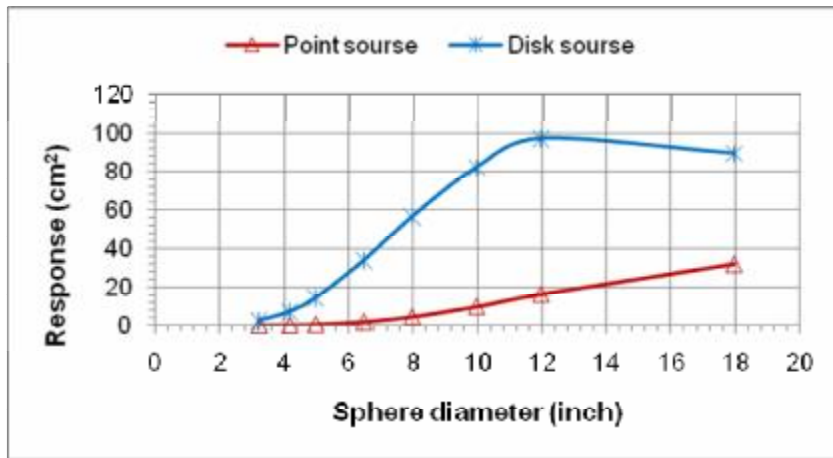


الشكل (8-a) الاستجابة الطاقية للكترات 3.25, 4.2, 5.0, 6.5 inch في حالة منبع النترونات

قرصي



الشكل (8-b) الاستجابة الطاقية للكرات للكرات 8, 10, 12, 18 inch في حالة منبع النيوترونات قرصي

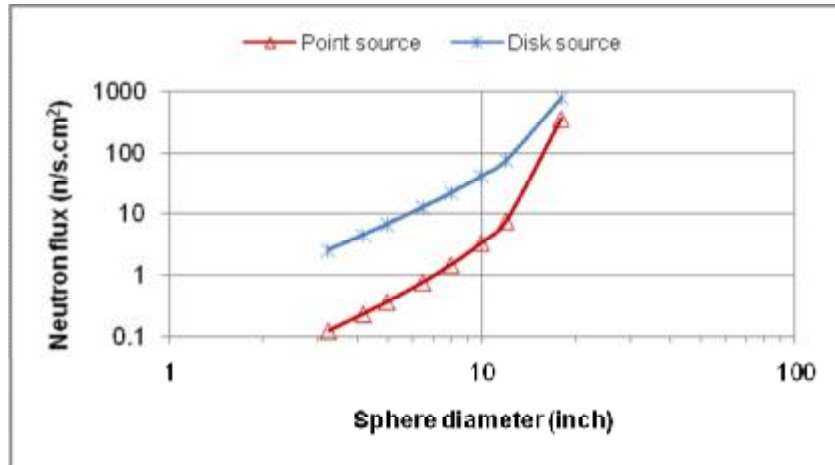


الشكل (9) الاستجابة الطاقية النيوترونية كتابع لقطر كرة الماء في حالة منبع النيوترونات نقطي وقرصي.

النتائج والمناقشة

نلاحظ من الشكل (3) أن معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في حالة منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ قرصي أكبر من معدل التفاعل في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ نقطي إذ بلغ الفرق بينهما 99% في حالة الكرة ذات القطر 3.25 inch و82% في حالة الكرة ذات القطر 18 inch، ويفسر ذلك بشكل إصدار المنبع للنيوترونات والذي يكون في زاوية π راديان في حالة المنبع القرصي وفي زاوية مجسمة 4π سنيراديان في حالة المنبع النقطي.

ويلاحظ أيضاً أن عدد التفاعلات $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ يزداد مع ازدياد قطر الكرة ويصل إلى قيمة عظمى ثم يتناقص تدريجياً مع زيادة قطر الكرة، ويفسر ذلك أولاً بازدياد تدفق النترونات الساقطة من منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على سطح كرة الماء المقابل للمنبع متناسباً مع $(\pi R^2/(d-R)^2)$ في حالة المنبع نقطي ومع $(\pi R^2/(d-R))$ في حالة المنبع قرصي إذ R هو نصف قطر الكرة و $d=25\text{ cm}$ هي المسافة من منبع النترونات إلى مركز الكرة كما هو موضح في الشكل (10)، وثانياً مع ازدياد قطر كرة الماء تزداد نسبة النترونات الحرارية المتشكلة بنتيجة تهدئة النترونات في الماء، ومنه تزداد نسبة امتصاص النترونات منخفضة الطاقة في الهروجين المكون للماء، في حين يفسر انخفاض معدل التفاعل في حالة الكرات الصغيرة بنقصان المقطع الكلي لتبعثر وامتصاص النترون في الماء مع زيادة طاقة النترون ومنه ازدياد طول مساره الحر الوسطي في الماء وخروجه إلى خارج حدود الكرة. وتبين المقارنة بين شكلي منحنيني معدل التفاعل أنه في حالة المنبع قرصي يزداد معدل التفاعل للكرات بشكل أسرع مما هو عليه للمنبع النقطي، إذ يصل معدل التفاعل إلى قيمته العظمى من أجل الكرة ذات القطر 8 inch في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ ، قرصي بينما في حالة المنبع نقطي يزداد معدل التفاعل بصورة أبطأ ويصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 12 inch وفضلاً عن ذلك يلاحظ أن نقصان معدل التفاعل في حالة المنبع قرصي يكون أسرع مما هو للمنبع النقطي، ويفسر ذلك باختلاف تناسب التدفق النتروني مع المسافة عن المنبع لكل من منبع النترونات النقطي والقرصي.



الشكل (10) تدفق النترونات الساقطة على سطح كرة الماء المقابل لمنبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي والقرصي.

نلاحظ من الشكلين (5) و(6) أن وجود حاجز الكاديوم أمام الكاشف مباشرة أدى إلى انخفاض تدفق النيوترونات الحرارية الساقطة على الكاشف ومنه معدل التفاعل، إذ بلغ انخفاض معدل التفاعل قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 8 inch وقد بلغ الفرق 45.65 % في حالة وجود حاجز الكاديوم مقارنة بالحالة نفسها لكن دون وجود حاجز الكاديوم وباستعمال منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل قرصي. كما لوحظ أيضاً انخفاض معدل التفاعل من أجل الكرة ذات القطر 12 inch إذ بلغ الفرق 50.41 % لهذه الكرة في حالة وجود حاجز الكاديوم مقارنة بالحالة نفسها لكن دون وجود حاجز الكاديوم وباستعمال منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي.

نلاحظ من الشكل (7-a) أن قيمة الاستجابة الطاقية تزداد بازدياد قطر كرة الماء وتمر بقيمة عظمى ثم تتناقص مع ازدياد طاقة النيوترون، وتكون أكبر ما يمكن لنيوترونات المنبع ذات الطاقة $4.14 \times 10^{-7} \text{ MeV}$ بالنسبة إلى الكرة ذات القطر 3.25 inch وللنيوترونات ذات الطاقة 0.11 MeV لكل من الكرتين 4.2 و 5 inch، كما تظهر قمة عريضة للاستجابة تتركز في مجال الطاقة (0.3-1.2) MeV في حالة الكرة 6.5 inch.

نلاحظ من الشكل (7-b) أن قيمة الاستجابة الطاقية تنقص بازدياد قطر كرة الماء بالنسبة إلى نيوترونات المنبع التي طاقتها أقل من 0.1 MeV، ثم تزداد مع ازدياد طاقة النيوترون، وتشكل قمة عريضة للاستجابة في مجال الطاقة (0.2-6) MeV في حالة الكرة 8 inch، وتضيق وتتراج نحو اليمين وتتركز حول الطاقة 2.47 MeV في حالة الكرة 10 inch.

نلاحظ من الشكل (7-c) تشكل قمة للاستجابة الطاقية تتركز حول الطاقة 4.82 MeV في حالة الكرة 12 inch كما يلاحظ أن قيمة الاستجابة الطاقية للكرة 18 inch تساوي الصفر تقريباً بالنسبة إلى نيوترونات المنبع التي طاقتها أقل من 0.1 MeV ثم تزداد بازدياد طاقة النيوترون، وتشكل قمة تتركز حول الطاقة 9.32 MeV. كما أن قيمة الاستجابة عند القمة للكرة 18 inch أكبر بمقدار 55.70 % من تلك التي للكرة 12 inch.

نلاحظ من الشكل (8-a) أن قيمة الاستجابة الطاقية تزداد بازدياد قطر كرة الماء وتمر بقيمة عظمى ثم تتناقص مع ازدياد طاقة النيوترون، وتكون أكبر ما يمكن لنيوترونات المنبع ذات الطاقة $4.14 \times 10^{-7} \text{ MeV}$ في حالة الكرة ذات القطر 3.25 inch وللنيوترونات ذات الطاقة 0.11 MeV في حالة الكرتين 4.2 و 5 inch، ومع ازدياد قطر الكرة إلى 6.5 inch تظهر قمة عريضة للاستجابة في مجال الطاقة من 0.2 إلى 2 MeV.

نلاحظ من الشكل (8-b) أن قيمة الاستجابة الطاقية تنقص بازدياد قطر كرة الماء في حالة نيوترونات المنبع التي طاقتها أقل من 1 MeV، ثم تزداد مع ازدياد طاقة النيوترون وتشكل قمة عريضة للاستجابة تتركز حول الطاقة 2 MeV في حالة الكرة 8 inch، وتضيق وتتراج نحو اليمين وتتركز حول الطاقة 2.25 MeV في حالة الكرة 10 inch.

وحول الطاقة 5.47 MeV في حالة الكرة 12 inch وحول 8.03 MeV في حالة الكرة 18 inch، كما أن قيمة الاستجابة عند القمة في حالة الكرة 18 inch أكبر بمقدار 0.63% من مثيلتها للكرة 12 inch.

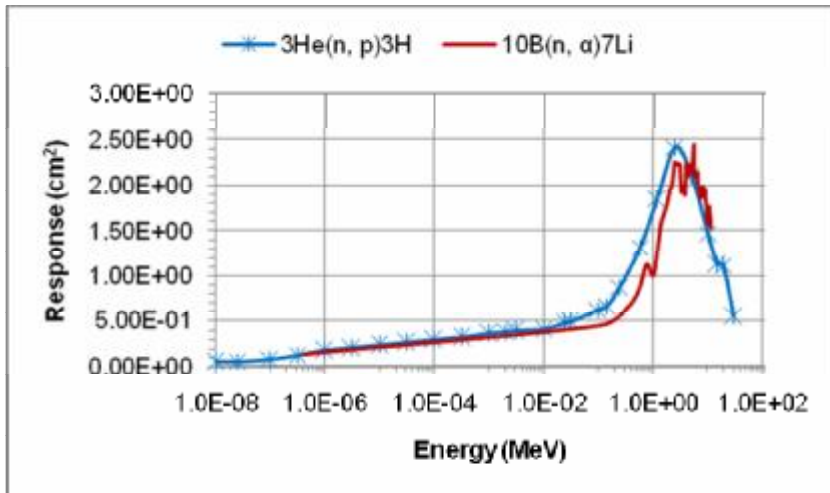
نلاحظ من الشكل (9) أن قيم الاستجابة الطاقية للمطيافية النترونية المكونة من ثماني كرات من الماء والكاشف BF_3 تكون أكبر بوضوح لحالة منبع النترونات قرصي منها لحالة منبع النترونات نقطي، ويعود السبب في ذلك إلى أن المنبع النقطي يصدر النترونات في زاوية 4π ستيراديان، أمّا في حالة منبع النترونات قرصي فتكون الحزمة النترونية الصادرة عن المنبع متوازية وتتحرك باتجاه السطح المقابل للكرة. كما يلاحظ أن الاستجابة الطاقية في مدى الطاقة MeV (4.14x10⁻⁷-11.09) تصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 12 inch في حالة منبع النترونات قرصي في حين تبقى في هذه الظروف بازدياد في حالة منبع النترونات نقطياً، ويفسر ذلك بثبات المسافة من منبع النترونات إلى مركز الكرة التي تساوي 25 cm إذ مع ازدياد قطر الكرة تنقص المسافة بين سطح الكرة المقابل للمنبع وبين منبع النترونات، ممّا يؤدي إلى زيادة تدفق النترونات الساقطة على سطح الكرة بشكل يتناسب طردياً مع مربع المسافة من منبع النترونات إلى سطح الكرة في حالة المنبع نقطي، وطردياً مع المسافة من منبع النترونات إلى سطح الكرة المقابل للمنبع في حالة المنبع قرصي.

الجدول (2) مقارنة بين قيم الاستجابة عند بعض الطاقات للكرتين ذات القطر 12 inch و 18 inch لمطياف كرة الماء في حالة استخدام الكاشف BF_3 والكاشف 3He ومنبع نتروني قرصي محسوبة بالكود MCNP

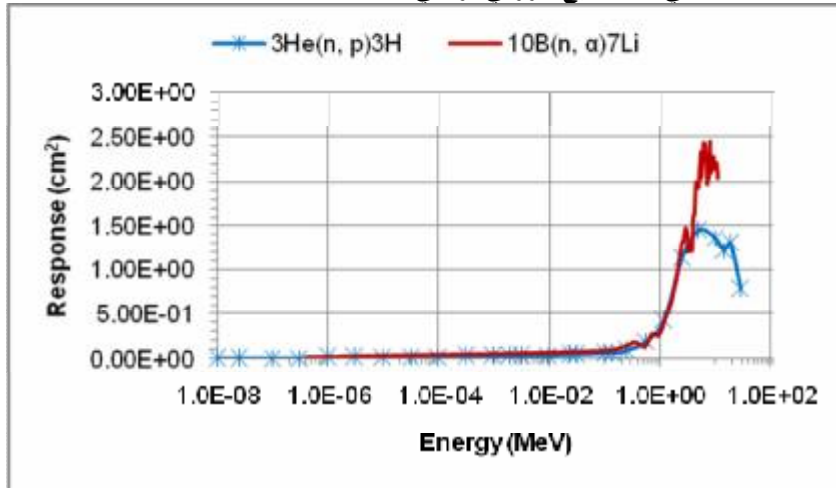
العمل [17]		هذا العمل			
الكاشف 3He		الكاشف BF_3			
Sphere response (cm ²)		Sphere response (cm ²)		الطاقة (MeV)	
18 inch	12 inch	18 inch	12 inch		
0.061	0.62	0.087	0.45	0.11	
0.42	1.84	0.40	1.24	1.18	
1.13	2.42	1.30	2.25	2.47	
1.45	2.12	1.94	2.23	5.04	
1.37	1.47	2.13	1.66	9.96	

قورنت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية في هذا البحث بنتائج العمل [17] في حالة منبع نتروني قرصي وللكرتين ذات القطر 12 inch و 18 inch. يوضح الجدول (2) والشكلان (11) و(12) نتائج هذه المقارنة. من الشكلين (11) و(12) نلاحظ أن هناك توافقاً جيداً بين نتائج حساب الاستجابة للكرتين المذكورتين، وذلك من حيث الشكل العام لمنحنى تغير الاستجابة مع الطاقة، ومن حيث موقع قمة الاستجابة، كما يلاحظ تقارب في قيم الاستجابة من أجل الطاقات القريبة من بعضها في هذا البحث وفي العمل [17]،

ويفسر سبب الاختلاف بين النتائج باختلاف حجم الكاشف المستعمل في هذا العمل وفي العمل [17].



الشكل (11) مقارنة الاستجابة الطاقية للكروية ذات القطر 12 inch المحسوبة في هذا البحث لكروية الماء مع الكاشف BF_3 بتلك المحسوبة في العمل [17] لكروية الماء مع الكاشف 3He في حالة منبع نتروني قرصي



الشكل (12) مقارنة الاستجابة الطاقية للكروية ذات القطر 12 inch المحسوبة في هذا البحث لكروية الماء مع الكاشف BF_3 بتلك المحسوبة في العمل [17] لكروية الماء مع الكاشف 3He في حالة منبع نتروني قرصي

الاستنتاجات

استعمل الكود MCNP5-beta في هذا العمل لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ومصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من الماء متغيرة القطر وكاشف النترونات الحرارية من النوع BF_3 باستعمال منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي. بيّنت نتائج الحساب أن قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في حالة منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل قرصي أكبر مما هي في حالة كونه على شكل نقطي.

بيّنت نتائج الحساب أن قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في حالة منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل قرصي أكبر مما هي في حالة كونه على شكل نقطي، كما يؤدي وضع حاجز من الكاديوم أمام الكاشف مباشرة إلى انخفاض قيم التدفق النتروني ومعدل التفاعل داخل الكاشف BF_3 .

وبيّنت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية للمطيافية النترونية المكونة من كرة متغيرة القطر من الماء والكاشف BF_3 أن قيم مصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي أكبر مما هي في حالة منبع النترونات نقطي، كما أن الاستجابة الطاقية تصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 12 inch في حالة منبع النترونات القرصي في مجال الطاقة من $4.14 \times 10^{-7} \text{ MeV}$ إلى 11.09 MeV في حين تبقى في هذه الظروف بازدياد في حالة منبع النترونات نقطي.

وبيّنت مقارنة نتائج حساب الاستجابة الطاقية لكرات الماء مع الكاشف BF_3 في هذا العمل بنتائج العمل [17] أن هناك توافقاً جيداً بين النتائج. وبناء على نتائج هذه المقارنة لحالة منبع النترونات القرصي يمكن استنتاج صحة ما حسب في هذا العمل بالنسبة إلى حالة منبع النترونات النقطي فيما يخص معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ والاستجابة الطاقية.

REFERENCES

1. Vega-Carrillo HR, Baltazar-Raigosa A (2011). *Photoneutron spectra around an 18 MV LINAC*. J Radioanal Nucl Chem 287:323–327,
2. ICRP (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Elsevier Health Sciences/ Pergamon Press, Oxford,
3. Miri-Hakimabad H, Rafat-Motavalli L, Karimi-Shahri K (2009). *Assessment of neutron fluence to organ dose conversion coefficients in the ORNL analytical adult phantom*. J Radiol Prot 29:51–60,
4. Vega-Carrillo HR, Ortiz-Hernandez A, Hernandez-Davila VM, Hernandez-Almaraz B, Teodoro RM (2010). *H*(10) and neutron spectra around LINACs*. J Radioanal Nucl Chem 283:537–540 Table 2 Comparison of the fluence-average neutron energy,
5. Awschalom M, Sanna RS (1985). *Applications of Bonner sphere detectors in neutron field dosimetry*. Radiat Prot Dosim 10: 89–101,
6. Bramblett RL, Ewing RI, Bonner TW (1960). *A new type of neutron spectrometer*. Nucl Instrum Methods 9:1–12,
7. Green T, Biegalski S, O’Kelly S, Sayre G. (2008). Neutron energy spectrum determination and flux measurement using MAXED, GRAVEL, and MCNP for RACE experiments. J Radioanal Nucl Chem 276:279–284,
8. Hakim M, Zahir I, Tassadit S, Malika A (2010). *MCNP5 evaluation of a response matrix of a Bonner sphere spectrometer with a high efficiency ⁶Li (Eu) detector from 0.01 eV to 20 MeV neutron*. J Radioanal. Nucl. Chem 284:253–263,
9. Jacobs GJH, van den Bosch RLP. (1980). *Calibration measurements with the multisphere method and neutron spectrum analyses using the SAND-II program*. Nucl Instrum Methods 175:483–489,
10. Thomas D.J, Bardell A.G, Macaulay E. (2002). *Characterization of a gold foil based Bonner sphere set and measurements of neutron spectra at a medical accelerator*. Nucl Instrum Methods A 476:31–35,
11. Schaeffer N.M. (editor.), (1973). *Reactor shielding for nuclear Engineers, Radiation Research Associates Incorporation*, international Standard Book Number 0-87079-004-8 Library of Congress Catalog Card Number 73-600001' AEC Distribution Category UC-80,
12. Millett M.G., M.E. Nelson, (1998). *Journals of Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Nuclear Reactors* (417, 332).
13. INO T, YASUI, S, OGAWA Y, FURUSAKA M., KIYANAGI Y, (2008). *MEASUREMENT OF THE NEUTRON BEAM INTENSITY FROM THE KENS AMBIENT TEMPERATURE WATER MODERATOR*. [JOURNAL OF PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDS](#), VOLUME 60, NUMBER 8, 10 SEPTEMBER 1999, PP. 1561-1564(4).
14. WRIXON A D, J. RADIOL. PROT. 28 (2008). 161–168 *NEW ICRP RECOMMENDATIONS*.

15. International Standard ISO 8529 (2001). Reference neutron radiations – Part 1: Characteristic and methods of productions. International Standard ISO 8529-1,
16. LND 2029 Cylindrical BF₃ Neutron Detector.
WWW.Indinc.com/neutron/2029.htm,
17. Rahim K. and Hashem M. H (2011). *Evaluation of response matrix of a multisphere neutron spectrometer with water moderator*, journal of physics Vol. 77, No. 4 October pp. 599–609,
18. Lamarsh J.R., Baratta, A.J. (2001). *Introduction to Nuclear Engineering*, 3rd edn. Prentice-Hall Inc,
19. Briesmeister JF (2000) MCNP—a general Monte Carlo N-particle transport code. Version 4C. Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M, Los Alamos,
20. Amgarou K. and Lacoste V. (2010). *Response matrix evaluations of a passive Bonner sphere system used for neutron spectrometry at pulsed, intense and complex mixed fields* PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA, September 3.