

حساب معدل التفاعل ومصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثيلين متغيرة القطر والكاشف BF₃ باستعمال الكود MCNP5-beta

ماجدة نحيلي⁽¹⁾

تاريخ الإيداع 2013/08/21

قبل للنشر في 2014/04/14

الملخص

استعمل الكود MCNP5-beta لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ومصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثيلين متغيرة القطر وكاشف للنترونات الحرارية من النوع BF₃، وذلك باستعمال منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي، وبيّنت نتائج الحساب أن قيم معدل التفاعل ومصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي أكبر مما هي عليه في حالة منبع النترونات النقطي، كما أن الاستجابة الطاقية في مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} إلى 11.09 MeV تصل إلى قيمة عظمى في حالة الكرة ذات القطر 10 inch في حالة منبع النترونات القرصي حينما تبقى متزايدة في هذه الظروف في حالة منبع النترونات النقطي. قورنت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي بنتائج حسابية منشورة فوجد أن التوافق بين النتائج جيد.

الكلمات المفتاحية: مطيافية نترونية، الكاشف BF₃، مصفوفة الاستجابة الطاقية، منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ الكود MCNP5-beta.

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

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

M. Nahili⁽¹⁾

Received 21/08/2013

Accepted 14/04/2014

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 spectrometry consisting of a Polyethylene sphere with variable diameter and BF₃ detector using point and disk neutron sources $^{241}\text{Am-Be}$. The reaction rate and the response matrix of disk neutron source shows higher values than those obtained for point neutron source. In addition, the response with disk neutron source at the energy range from 4.14×10^{-7} MeV to 11.09 MeV shows a maximum value for sphere of 10 inch diameter, where the response with point neutron source stile increasing in this condition .The results obtained in this work for the 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⁾Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

المقدمة

تؤدي النeutrons دوراً كبيراً في كثير من المجالات العلمية (الفيزيائية، والهندسية، والطبية، والبيولوجية والكيميائية، والطاقة النووية، والاستثمارات البترولية وغيرها). ونظراً إلى ارتفاع الفعالية الحيوية لل neutrons (biological effectiveness of neutrons) وللجسيمات الثانوية المتولدة عنها، وارتباط معامل النوعية لل neutrons بطاقة neutrons (neutron's quality factor) وكذلك توعية استجابة الكواشف النeutronية ومقاييس الجرعة لهذه الطاقة، لذا للمعلومات التي تعطىها المطيافيات الإشعاعية (النeutronية والفوتونية) المستعملة لقياس الجرعة الإشعاعية في أماكن وجود المنشآت النووية والمنابع المشعة دور حاسم في حماية العاملين [1-10].

تعد مطيافية كرات بونر (Bonner Spheres Spectrometry (BSS) من بين أصناف المطيافيات الأولى التي جرى تطويرها بحيث أضحت أكثرها استعمالاً في كثير من المخابر العالمية مقارنة ببقية الأنواع الأخرى لمطيافية النeutrons، وتتكون مطيافية BSS بشكل رئيس من مجموعة كرات من البولي إيثيلين تستعمل لتهدئة النeutrons ومن كاشف لل neutrons الحرارية (مثل ^3He و BF_3 و بلورة الوميض $^6\text{Li(Eu)}$) وهناك تصاميم أخرى تستعمل صفائح الذهب أو مواد التألق الحراري (Thermo luminescence (TL) كواشف لل neutrons الحرارية. وتتميز مطيافية BSS بحساسية عالية لل neutrons بدءاً من النeutrons الحرارية إلى نeutrons ذات طاقة من مرتبة GeV مع إمكان التمييز بين النeutrons والأشعة غاما، هذا فضلاً عن سهولة التشغيل، والنقل، والاستجابة الطاقية المتناحية [11-21].

المهدئات

تخضع النeutrons فوق الحرارية والسريعة في أثناء انتقالها في المادة لعملية التبعثر المرن وغير المرن، وبذلك تفقد طاقتها إلى أن تصل إلى التوازن الحراري أو تهرب من المهدئ وتعرف هذه العملية بهتدة النeutrons. وتتميز المهدئات بكبر نسبة مقطع التبعثر إلى مقطع الامتصاص وعندئذ يصل عدد كبير من النeutrons إلى المجال الحراري قبل امتصاصها في الوسط. تتكون المواد المهدئة الجيدة بشكل رئيس من الهيدروجين والديتيريوم والبيريليوم والكربون والأكسجين. تعد كرات البولي إيثيلين خياراً عاماً لمستخدمي طريقة مطيافية كرات بونر لكشف النeutrons إذ ينتج التناظر الكروي للكاشف في مركز الكرة استجابة متناحية الاتجاه. تراوح كثافة البولي إيثيلين التجاري بين 0.91 و 0.96 g/cm^3 إذ يؤثر تغير كثافة البولي إيثيلين تأثيراً فعالاً في تفسير نتائج القياس، ويتميز البولي إيثيلين الشائع الاستعمال بكثافة عالية ($\rho=0.96 \text{ g/cm}^3$) [22].

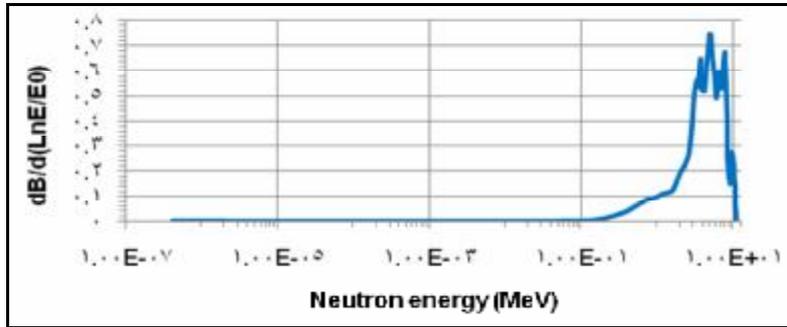
هدف البحث

يرتبط التقييم الدقيق لأجهزة قياس كمية الجرعة الإشعاعية في وسط معرض لمنبع مشع بتغير طيف المنبع المشع وشكله. تتميز نظم المطيافيات 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 نظري لتأثير تغير شكل منبع النترونات من النقطي (حزمة نترونية متباعدة) إلى القرصي (حزمة نترونية متوازية) في معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ وفي مصفوفة الاستجابة الطاقية باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثلين 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 البولي إيثلين متغيرة القطر وكاشف النترونات الحرارية من النوع BF_3 في حالة استعمال منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على شكل نقطي وقرصي، وكذلك أيضاً لحساب مصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية للمطيافية المعتمدة في مجال الطاقة من $4.14 \times 10^{-7} \text{ MeV}$ إلى 11.09 MeV في حالة استعمال منبع نتروني على شكل نقطي وقرصي.

المنبع النتروني $^{241}\text{Am-Be}$

منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ هو خليط متجانس من النظيرين ^{241}Am و ^9Be إذ يكون البيريليوم أغلب مادته. وتتسأ النترونات من المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ نتيجة للتفاعل $^{12}\text{C}(^9\text{Be}, n)^{13}\text{C}$ الذي يجري بواسطة الجسيمات ألفا المنبعثة من ^{241}Am . ويتميز المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ بطيف نتروني مستمر يقع 98% منه في المنطقة السريعة $(0.1-10.8) \text{ MeV}$ ، وبطاقة وسطية 5.48 MeV ، وبأن نسبة إصدار الفوتونات غاما إلى إصدار النترونات هي 59.6%. ويوضح الشكل (1) طيف منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ المستعمل في المحاكاة في هذا البحث (ISO 8529-1) [23].



الشكل (1) طيف النترونات الصادرة عن المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ [23]

توصيف المطيافية النترونية المستعملة في هذا العمل:

تتكون المطيافية النترونية المستعملة في هذا العمل من ثماني كرات من البولي إيثيلين متغيرة الأقطار (3.25, 4.2, 5, 6.5, 8, 10, 12 and 18 inch) محاطة بغلاف من الألمنيوم سمكه 2mm تستعمل لتهدئة النترونات، ومن كاشف للنترونات الحرارية من النوع BF_3 (قطره 2.54cm وطوله 28.20cm وضغط الغاز المملوء بداخله 0.92 atm). ويوضح الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF_3 المستعمل في هذا العمل.

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF_3 المستعمل في المحاكاة بالكود

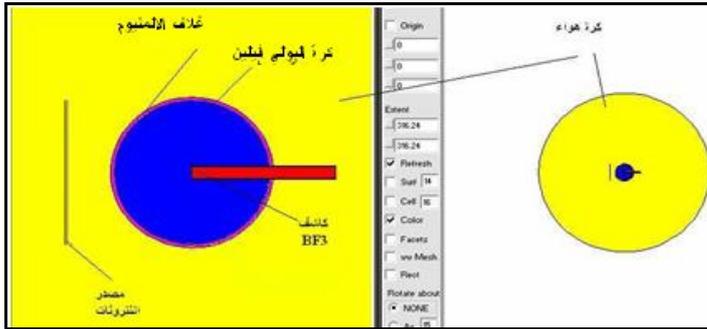
[24] MCNP5-beta

Cylindrical BF_3 neutron detector (mode LND 2210)	
Effective volume (cm ³)	142.89
Pressure (atm)	0.92
BF_3 composition (atom ratio)	96% ¹⁰ B, 4% ¹¹ B, 300% F ₃
Molecular weight (g)	67.1

1- نمذجة المطيافية النترونية باستعمال الكود MCNP5-beta

يوضح الشكل (2) مقطعاً عرضياً للمطيافية النترونية (كرة البولي إيثيلين والكاشف 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 المهدي، ووضع الكاشف BF_3 داخل كرة المهدي موازياً لحزمة النترونات الصادرة عن المنبع القرصي بحيث تقع إحدى قاعدتيه في مركز الكرة مطابقاً للمحور OX.



الشكل (2) مقطع عرضي للمطيافية النترونية (كرة البولي إيثيلين وكاشف BF_3) ومنبع النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي باستعمال رسام 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 [25]:

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

إذ:

C_i - معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ للكرة i مع الكاشف BF_3 (counts)،

$\Phi(E)$ - تدفق النترونات مقدراً بالوحدة (n/cm^2) ،

$R_i(E)$ - تابع الاستجابة للكرة i مقدراً بالوحدة cm^2 .

لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ لجملة كرات البولي إيثيلين والكاشف BF_3 في حالة استعمال 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 وكثافته 0.002568 g/cm^3 عند الدرجة 293 K° [26] - هذا الكاشف من نموذج LND-2210) في مركز ثماني كرات من البولي إيثيلين (كثافته 0.96 g/cm^3) أقطارها 2, 3.25, 4.2, 5, 6.5, 8, 10, 12 inch (من 8.225 cm إلى 45.72 cm) محاطة بغلاف من الألمنيوم سمكه 2 mm كما هو موضَّح في الشكل (2) إذ وضع منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ على مسافة 25 cm من مركز كرة البولي إيثيلين.

2- وصف منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ باستعمال البطاقة SDEF المتاحة في الكود MCNP5-beta على شكل نقطي وعلى شكل قرص مهمل السمك وعمودي على المحور ox ويصدر نترونات متعددة الطاقة بشكل منتظم ولها اتجاه واحد هو الاتجاه الموجب للمحور ox.

3- استعملت قيم الطيف النثروني لمنبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ في توصيف المنبع، إذ أدخلت هذه القيم في ملف الدخل باستعمال البطاقتين si و pi المتاحتين في الكود MCNP5-beta لتوصيف المنابع النثرونية [23,27].

4- استعملت البطاقة F4 المتاحة في الكود MCNP5-beta لحساب تدفق النترونات في الحجم الفعال للكاشف BF_3 ، إذ يتناسب تدفق النترونات مع مجموع المسارات k ذات

الطول L_k للنترونات ذات الطاقة E_j التي تعبر الحجم الفعال للكاشف BF_3 كما هو موضَّح بالعلاقات (3-6) [17,27]:

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

$$\Phi(\vec{r}, E, t) = v \times N(\vec{r}, E, t) \quad (4)$$

إذ:

v سرعة النترون (cm/s)،

$N(\vec{r}, E, t)$ - كثافة النترونات وهي وزن النترون في وحدة الحجم (particle weight/unit volume (n/cm^3)). ويعطى التدفق الزمني التكاملي للنترونات بالعلاقة (5):

$$\int_V \int_t \int_E \Phi(\vec{r}, E, t) dE dt \frac{dV}{V} = w \frac{v \times t}{V} = w \frac{L_k}{V} \quad (5)$$

إذ: w وزن النترون في وحدة الحجم.

وبفرض أن $ds=v \cdot dt$ فإن التدفق الزمني التكاملي للنترونات يعطى بالعلاقة (6):

$$\int_V \int_E \int_t \left(\Phi(\vec{r}, E, t) dt dE \frac{dV}{V} \right) = \int_V \int_E \int_s N(\vec{r}, E, t) ds dE \frac{dV}{V} \quad (6)$$

وذلك لأن $N(\vec{r}, E, t) ds$ هي كثافة طول الأثر (track length density).

5- وحسب التكامل السابق باستعمال الكود MCNP5-beta بجمع المقدار wL_k/V من أجل آثار النترونات جميعها في الحجم الفعال للكاشف وخلال المجال الزمني للحساب ولمجال الطاقات الحرارية للنترونات.

6- واستعملت البطاقة Fm4 المتاحة في الكود MCNP5-beta لحساب عدد جسيمات ألفا الناتجة عن التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ في الحجم الفعال للكاشف، BF_3 منسوبة إلى نترون واحد من المنبع $^{241}Am-Be$ باستعمال العلاقة الآتية [27]:

$$r = N_B \times \sigma_B(E) \times \Phi_n \times V \quad (5)$$

إذ:

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

N_B (atoms/cm³) - الكثافة الذرية للبور ^{10}B ،

$$\sigma_B (\text{cm}^2) - \text{مقطع البور لامتصاص النيوترونات الحرارية،}$$

$$V (\text{cm}^3) - \text{الحجم الفعال للكاشف } \text{BF}_3،$$

$$\Phi_n (\text{n/cm}^2) - \text{تدفق النيوترونات الحرارية داخل الكاشف } \text{BF}_3.$$

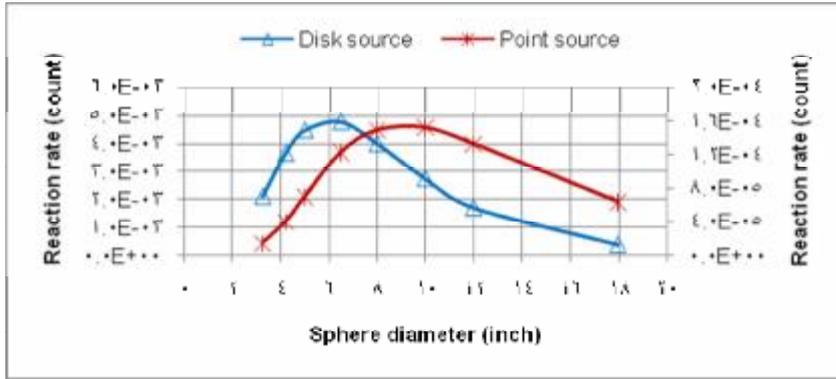
7- درست حالتان للمنبع $^{241}\text{Am-Be}$:

أ- حالة المنبع النقطي،

ب- حالة المنبع القرصي.

إذ عُدَّ في حالة المنبع القرصي أن النيوترونات تنتشر باتجاه كرة البولي إيثيلين على شكل حزمة متوازية نصف قطرها يساوي نصف قطر كرة البولي إيثيلين.

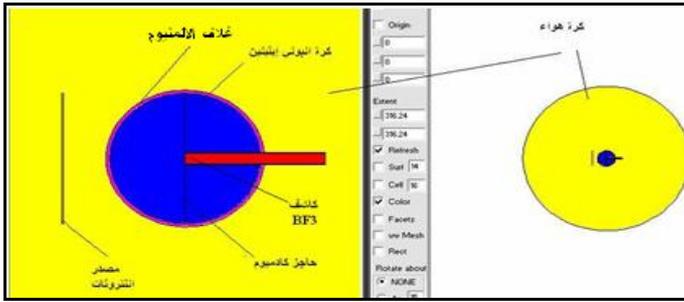
ويوضِّح الشكل (3) معدلات التفاعل $^{10}\text{B} (n, \alpha)^7\text{Li}$ للمطيافية النثرية المكونة من ثماني كرات من البولي إيثيلين والكاشف BF_3 كتابع لقطر كرة البولي إيثيلين في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي.



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

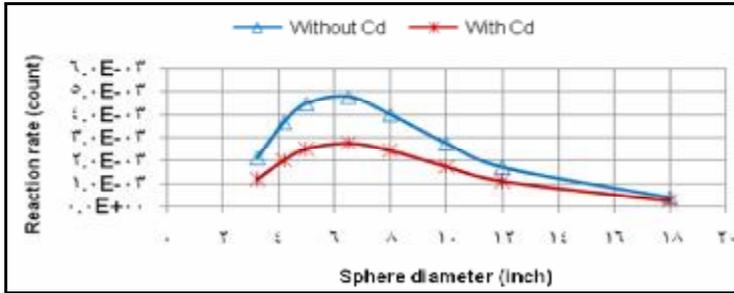
3- تأثير وجود حاجز من الكاديوم أمام الكاشف BF_3 في معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$

لحساب تأثير وجود حاجز من الكاديوم أمام الكاشف في معدل التفاعل $^{10}\text{B} (n, \alpha)^7\text{Li}$ نضع حاجزاً من الكاديوم سمكه 1mm (ارتفاعه يساوي قطر كرة البولي إيثيلين) أمام الكاشف مباشرة، أضيف حاجز الكاديوم إلى ملفات الدخل التي أُعدت في الفقرة السابقة لكرات البولي إيثيلين الثماني في حالة استعمال منبع النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي والقرصي، كما هو موضَّح في الشكل (4).

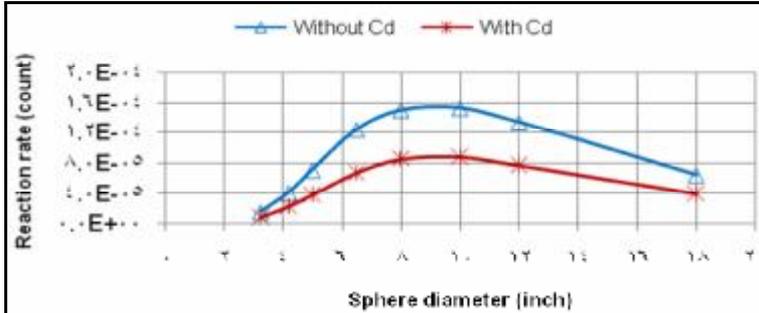


الشكل (4) مقطع عرضي للمطيافية النeutرونية (كرات البولي إيثيلين والكاشف BF_3 وحاجز كادميوم) باستعمال رسام الكود MCNP5-beta.

ويوضح الشكلان (5) و(6) معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ كتابع لقطر كرة البولي إيثيلين بوجود حاجز الكادميوم وعدم وجوده في حالة استعمال منبع النيوترونات $^{241}Am-Be$ القرصي والنقطي على الترتيب.



الشكل (5) معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ كتابع لقطر كرة البولي إيثيلين بوجود حاجز الكادميوم وعدم وجوده في حالة المنبع $^{241}Am-Be$ القرصي.



الشكل (6) معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ كتابع لقطر كرة البولي إيثيلين بوجود حاجز الكادميوم وعدم وجوده في حالة المنبع $^{241}Am-Be$ النقطي.

حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة

من كرة من البولي إيثلين وكاشف النترونات BF_3

يعطى تابع الاستجابة الطاقية لجملة كرة البولي إيثلين والكاشف BF_3 عند تعريفها لحزمة نترونية متجانسة متوازية ومتماثلة الطاقة بالعلاقة الآتية [28]:

$$R_i(E_n) = \sum_{j=1}^{j=54} \Phi_j a_s N_B V \sigma(E_j) \quad (6)$$

إذ:

$R_i(E_n)$ - تابع استجابة الكرة i كتابع لطاقة النترون مقدرة بالوحدة (cm^2) ،

$\Phi_j (n/cm^2)$ - تدفق النترونات داخل الكاشف BF_3 ،

$a_s (cm^2)$ - مقطع سطح الكرة المقابل لمنبع النترونات،

$N_B (cm^{-3})$ - الكثافة الذرية للبور ^{10}B ،

$V (cm^3)$ - الحجم الفعال للكاشف BF_3 ،

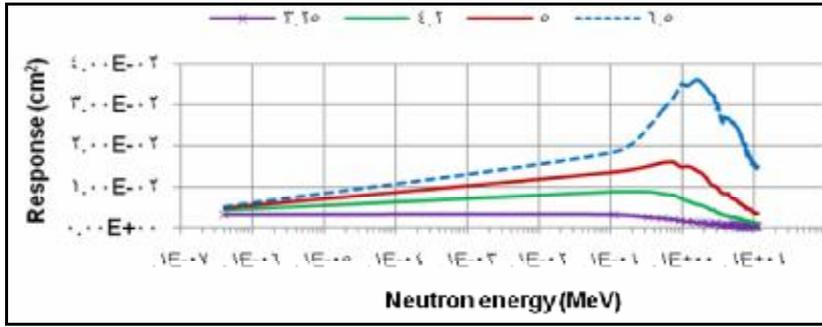
$\sigma(E_j)$ - المقطع العرضي للتفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ للنترونات ذات الطاقة $E(J)$

مقدراً بوحدة (cm^2) ،

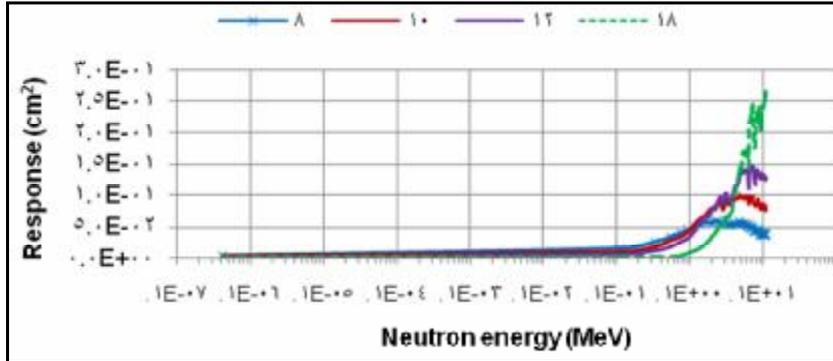
$j=54$ عدد المجالات الطاقية لطيف المنبع النتروني.

استعمل الكود MCNP5-beta لحساب مصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثلين والكاشف BF_3 باستعمال التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$. وصف المنبع النتروني على شكل قرصي ونقطي ويصدر نترونات متماثلة الطاقة وتغطي المجال من $4.14 \times 10^{-7} MeV$ إلى $11.09 MeV$ واستعملت البطاقتان F4 و Fm4 للحصول على تدفق النترونات ومعدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ في الحجم الفعال للكاشف BF_3 منسوبة إلى نترون واحد من المنبع النتروني على الترتيب.

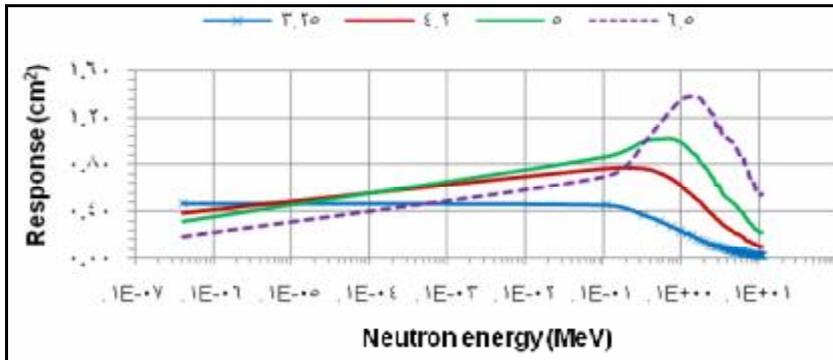
وتوضّح الأشكال (7-a)، (7-b)، (8-a)، (8-b) و (9) مصفوفة الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من ثماني كرات من البولي إيثلين وكاشف النترونات BF_3 كتابع لطاقة النترون ولقطر كرة البولي إيثلين في مجال الطاقة من $4.14 \times 10^{-7} MeV$ إلى $11.09 MeV$ في حالة منبع نتروني نقطي وقرصي على الترتيب.



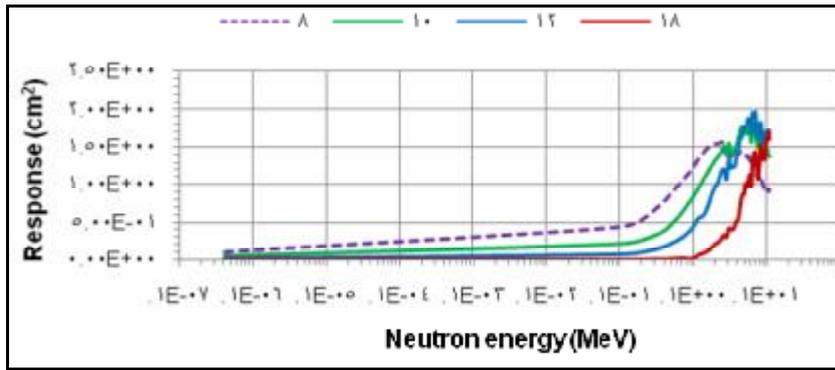
الشكل (7-a) توابع الاستجابة الطاقية للكرات للكرات 3.25, 4.2, 5.0, 6.5 inch في حالة منبع نتروني نقطي.



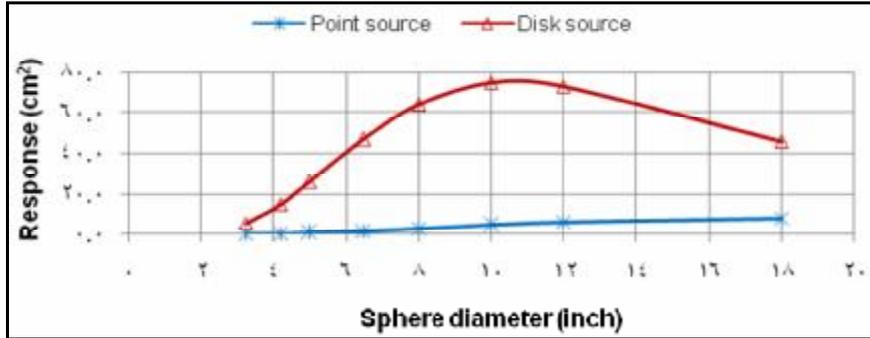
الشكل (7-b) توابع الاستجابة الطاقية للكرات للكرات 8, 10, 12, 18 inch في حالة منبع نتروني نقطي.



الشكل (8-a) توابع الاستجابة الطاقية للكرات للكرات 3.25, 4.2, 5.0, 6.5 inch في حالة منبع نتروني قرصي.



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



الشكل (9) مصفوفة الاستجابة الطاقية كتابع لأقطار كرات المطيافية المعتبرة في مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} MeV إلى 11.03 MeV للمنبع النتروني النقطي والقرصي

النتائج والمناقشة

نلاحظ من الشكل (3) أن قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ في حالة منبع النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي أكبر مما هي عليه للمنبع $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي، إذ يبلغ الفرق بينهما 99% في حالة الكرة ذات القطر 3.25 inch و 83% في حالة الكرة ذات القطر 18 inch، كما يلاحظ أن معدل التفاعل يزداد مع ازدياد قطر كرة البولي إيثيلين ويصل إلى قيمة عظمى ثم يتناقص تدريجياً مع زيادة قطر الكرة.

نلاحظ من الشكلين (5 و 6) أن وجود حاجز من الكاديوم أمام الكاشف BF_3 في منتصف كرة البولي إيثيلين أدى إلى انخفاض تدفق النترونات الحرارية التي يسجلها الكاشف BF_3 ، ومنه معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ، إذ يبلغ انخفاض معدل التفاعل قيمة

عظمى من أجل الكرة ذات القطر 4.2 inch ويبلغ الفرق 44.2 % في حالة وجود حاجز الكادميوم مقارنة بالحالة نفسها لكن دون وجود حاجز الكادميوم، كما يلاحظ انخفاض أصغري من أجل الكرة 18 inch إذ يبلغ الفرق 32.03 % في حالة وجود حاجز الكادميوم مقارنة بالحالة نفسها لكن دون وجود حاجز الكادميوم وباستعمال منبع النيوترونات ^{241}Am Be القرصي. كما يلاحظ أيضاً انخفاضاً أعظمي في معدل التفاعل يبلغ 46.10 % من أجل الكرة 5 inch وانخفاض أصغري يبلغ 38.10 % من أجل الكرة ذات القطر 18 inch في حالة وجود حاجز الكادميوم مقارنة بالحالة نفسها لكن دون وجود حاجز الكادميوم وباستعمال منبع النيوترونات ^{241}Am -Be النقطي. مما سبق نلاحظ أن نقصان معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ بوجود حاجز الكادميوم يكون أكبر في حالة المنبع النقطي منه في حالة المنبع القرصي، وأن هذا الانخفاض يكون أكبر في حالة الكرات الصغيرة منه للكرات الكبيرة، ويفسر ذلك بأن حاجز الكادميوم يمتص بشكل رئيس النيوترونات الحرارية القادمة من نصف الكرة الأمامي (المقابل للمنبع) بما فيها تلك التي خضعت للتهديئة في النصف الأمامي للكرة وتلك التي تبعثرت في الهواء وسقطت في نصف الكرة الأمامي، ونظراً إلى أن المنبع النقطي يصدر النيوترونات في زاوية مجسمة 4π ستيراديان لذلك نتوقع أن يكون تبعثر النيوترونات أشد مما هو في حالة منبع النيوترونات القرصي، كما يفسر الانخفاض الكبير لمعدل التفاعل في حالة الكرات الصغيرة بالنسبة إلى الكرات الكبيرة بثبات المسافة من منبع النيوترونات إلى مركز الكرة التي تساوي 25 cm إذ مع ازدياد قطر الكرة تنقص المسافة بين سطح الكرة المقابل للمنبع وبين منبع النيوترونات مما يؤدي إلى نقصان إسهام عملية تبعثر النيوترونات في الهواء في معدل التفاعل في حالة الكرات الكبيرة، هذا فضلاً عن أن تدفق النيوترونات الساقطة من المنبع النيوتروني على سطح الكرة يزداد مع نقصان المسافة من المنبع إلى سطح الكرة.

نلاحظ من الشكل (7-a) أن تابع الاستجابة الطاقية يزداد بازدياد قطر كرة البولي إيثيلين ويمر بقيمة عظمى، ثم يتناقص مع ازدياد طاقة النيوترون وتكون قيمته أكبر ما يمكن لنيوترونات المنبع ذات الطاقات 4.14×10^{-7} و 0.33 و 0.75 MeV في حالة الكرات ذات الأقطار 3.25 و 4.2 و 5 inch على الترتيب، في حين تظهر قمة عريضة لتابع الاستجابة تتركز حول الطاقة (1-2) MeV في حالة الكرة 6.5 inch.

نلاحظ من الشكل (7-b) أن تابع الاستجابة الطاقية ينقص بازدياد قطر كرة البولي إيثيلين بالنسبة إلى نيوترونات المنبع التي طاقتها أقل من 1.0 MeV، ثم يزداد مع ازدياد طاقة النيوترون حيث تتشكل قمة عريضة للاستجابة في مجال الطاقة (1-8) MeV في حالة الكرة 8 inch وتضيق وتتزاح نحو اليمين وتتركز حول الطاقات 5 و 7.18 و 11.03 في حالة الكرات ذات الأقطار 10 و 12 و 18 inch على الترتيب، كما أن قيمة الاستجابة عند القمة للكرة 18 inch أكبر بمقدار 44.7 % من تلك التي للكرة 12 inch.

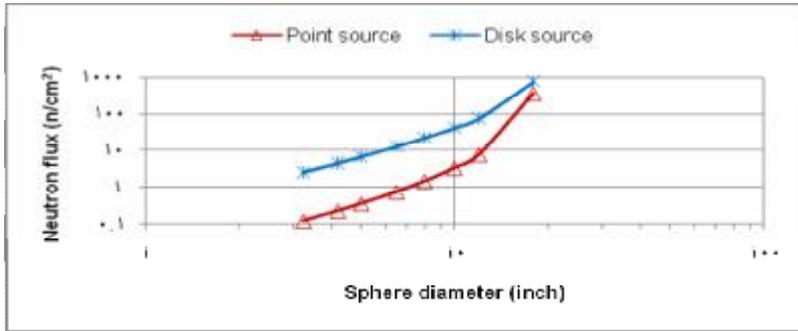
نلاحظ من الشكل (8-a) أن تابع الاستجابة الطاقية يزداد بازدياد طاقة النترون ويمر بقيمة عظمى ثم يتناقص مع ازدياد طاقة النترون إذ تكون قيمته أكبر ما يمكن لنترونات المنبع ذات الطاقات 4.14×10^{-7} و 0.33 و 0.75 MeV في حالة الكرات ذات الأقطار 3.25 و 4.2 و 5 inch على الترتيب، ومع ازدياد قطر الكرة إلى 6.5 inch تنقص الاستجابة في مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} إلى 0.33 MeV ثم تزداد بازدياد طاقة النترون إذ تظهر قمة تتركز حول الطاقة 1.4 MeV.

نلاحظ من الشكل (8-b) أن تابع الاستجابة الطاقية ينقص بازدياد قطر كرة البولي إيثلين في حالة نترونات المنبع التي طاقتها أقل من 1.2 MeV ثم يزداد مع ازدياد طاقة النترون إذ تتشكل قمة عريضة للاستجابة في مجال الطاقة (7-1) MeV في حالة الكرة 8 inch وتضيق وتتزاح نحو اليمين وتتركز حول الطاقات 6 و 7 و 11.03 MeV في حالة الكرات ذات الأقطار 10 و 12 و 18 inch على الترتيب، كما يلاحظ أن قيمة الاستجابة عند القمة في حالة الكرة 12 inch أكبر بمقدار 12.39% من مثلتها للكرة 18 inch بعكس ما هو ملاحظ للكرتين نفسها في حالة المنبع النقطي.

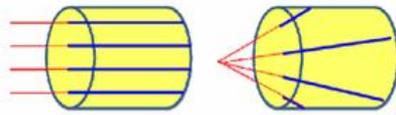
نلاحظ من الشكل (9) أن مصفوفة الاستجابة الطاقية للمطيافية النترونية المكونة من ثماني كرات من البولي إيثلين والكاشف BF_3 تكون أكبر بوضوح في حالة منبع النترونات القرصي منها في حالة منبع النترونات النقطي، كما يلاحظ أن الاستجابة الطاقية في مجال الطاقة (11.09- 4.14×10^{-7}) MeV تصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 10 inch في حالة منبع النترونات القرصي حينما تبقى متزايدة في هذه الظروف في حالة منبع النترونات النقطي.

نلاحظ مما سبق أن معدل التفاعل ومصفوفة الاستجابة الطاقية يرتبطان بطاقة نترونات المنبع وبشكل إصدار المنبع للنترونات وبقطر كرة البولي إيثلين، إذ يزداد المقطع الكلي لتبعثر النترون وامتصاصه في البولي إيثلين مع نقصان طاقة النترون (ويلاحظ ذلك بالاستجابة الكبيرة للنترونات منخفضة الطاقة في حالة كرات البولي إيثلين الصغيرة وبظهور قمم الاستجابة لنترونات المنبع ذات الطاقة الكبيرة في حالة الكرات الكبيرة)، ومع ازدياد قطر الكرات تزداد نسبة النترونات الحرارية المتشكلة بنتيجة عملية تهدئة النترونات في البولي إيثلين من جهة ومن جهة أخرى يزداد مقطع امتصاص النترونات الحرارية في البولي إيثلين (ويلاحظ ذلك بازدياد معدل التفاعل بزيادة قطر كرة البولي إيثلين وبلوغه قيمة عظمى ثم تنقصه مع زيادة قطر الكرة) كما يزداد تدفق النترونات الساقطة من منبع النترونات على سطح الكرة المقابل للمنبع متناسباً مع $(\pi R^2/(d-R)^2)$ في حالة المنبع النقطي ومع $(\pi R^2/(d-R))$ في حالة المنبع القرصي إذ R هو نصف قطر الكرة و $d=25$ cm هي المسافة من منبع النترونات إلى مركز كرة البولي إيثلين (الشكل 10) (ويلاحظ ذلك بازدياد الاستجابة مع زيادة قطر الكرة في حالة منبع النترونات

النقطي حينما تتناقص الاستجابة مع زيادة قطر الكرة من 12 inch إلى 18 inch في حالة منبع النيوترونات القرصي، وكذلك أيضاً ببلوغ مصفوفة الاستجابة قيمة عظمى في حالة الكرة ذات القطر 10 inch في مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} MeV إلى 11.09 MeV حينما تبقى متزايدة في هذه الظروف في حالة منبع النيوترونات النقطي) هذا فضلاً عن أن النيوترونات تصدر عن المنبع القرصي على شكل حزمة متوازية يساوي مقطعها مقطع الكرة حينما تصدر عن المنبع النقطي على شكل حزمة متباعدة في زاوية مجسمة 4π ستيراديان، لذا وبإهمال التأثير المتبادل بين النيوترونات وبين مادة الكرة يكون للنيوترونات الصادرة عن المنبع القرصي مسارات هندسية متساوية الطول داخل مقاطع أسطوانية من الكرة حينما يكون للنيوترونات الصادرة عن المنبع النقطي مسارات هندسية مختلفة الطول كما في الشكل (11)، مما يسهم فضلاً عما سبق بالازدياد السريع في معدل التفاعل في حالة المنبع القرصي مقارنة بقيمه في حالة المنبع النقطي، إذ يصل معدل التفاعل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 6 inch في حالة المنبع $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي في حين في حالة المنبع النقطي يزداد معدل التفاعل بصورة أبطأ ويصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 8-10 inch.



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

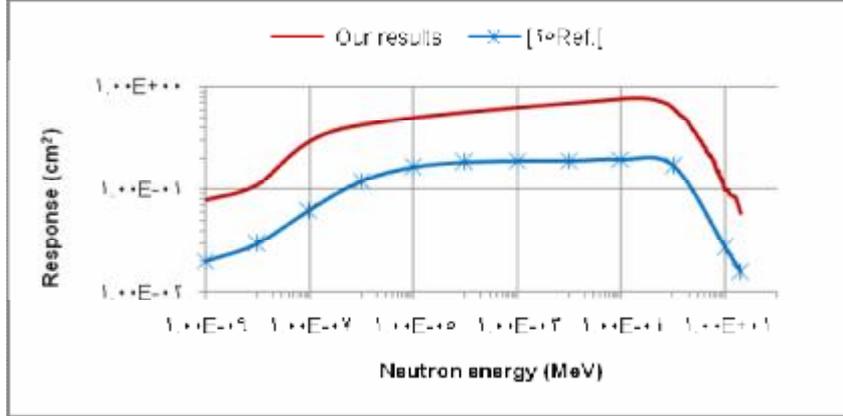


(a)

(b)

الشكل (11) مسار النيوترونات الصادرة عن منبع نيتروني قرصي (a) ومنبع نيتروني نقطي (b) دون تأثير متبادل للنيوترونات مع مادة الوسط

قورنت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية في هذا العمل بنتائج المرجع [25] وذلك بحساب الاستجابة الطاقية للكرة ذات القطر 4.2 inch في مجال الطاقة من 1×10^{-9} MeV إلى 20 MeV وفي حالة منبع نتروني قرصي كما هو موضح في الشكل (10). ويلاحظ من الشكل (10) أن هناك توافقاً جيداً بين النتائج إذ يظهر منحني الاستجابة التبعية نفسها لطاقة النترون، إلا أن قيم الاستجابة في هذا العمل أكبر من مثيلاتها في المرجع [25] ويعود السبب في ذلك أولاً إلى احتساب تبعثر النترونات في المرجع [25] وعدم مراعاته في هذا العمل، وثانياً إلى المسافة الفاصلة بين منبع النترونات وبين مركز كرات البولي إيثلين إذ هي 25 cm في هذا العمل و 75 cm في المرجع [25].



الشكل (10) مقارنة الاستجابة الطاقية للكرة ذات القطر 4.2 inch المحسوبة في هذا العمل وفي المرجع [25].

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 البولي إيثلين متغيرة القطر وكاشف النترونات الحرارية BF_3 واستعمل 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 $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي 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 .

وبينت نتائج حساب مصفوفة الاستجابة الطاقية للمطيافية النترونية المكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثلين والكاشف BF_3 أن قيم مصفوفة الاستجابة في حالة منبع النترونات القرصي أكبر مما هي عليه في حالة منبع النترونات النقطي، كما أن الاستجابة الطاقية تصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 10 inch في حالة منبع النترونات القرصي حينما تبقى متزايدة في حالة منبع النترونات النقطي في مجال الطاقة من 4.14×10^{-7} MeV إلى 11.09 MeV.

وبينت المقارنة بين الاستجابة الطاقية النترونية المحسوبة في هذا العمل لكرة البولي إيثلين ذات القطر 4.2 inch والكاشف BF_3 وبين تلك المحسوبة للكرة والكاشف نفسهما BF_3 في المرجع [25] وبوجود منبع نتروني قرصي أن هناك توافقاً جيداً بين النتائج. وبناء على هذه المقارنة لحالة منبع النترونات القرصي يمكن استنتاج صحة ما حسب في هذا العمل بالنسبة إلى حالة منبع النترونات النقطي فيما يخص معدل التفاعل $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ ومصفوفة الاستجابة الطاقية النترونية.

References

1. Liu, B. H., Greenberg, D. D., Capala, J., Wheeler, F. J., (1996). An Improved Neutron Collimator for Brain Tumor Irradiations in Clinical Boron Neutron Capture Therapy, *Medical Physics*, 23, 12, pp. 2051-5060.
2. Tanaka, R., Hunt, J. E., Winans, R. E., Thiyagarajan, P., Sato, S., Takanohashi, T., (2003). Aggregates Structure Analysis of Petroleum Asphaltenes with Small-Angle Neutron Scattering, *Energy Fuels*, 17, 1, pp. 127-134.
3. Wollan, E. O., Koehler, W. C., (1955). Neutron Diffraction Study of the Magnetic Properties of the Series of Perovskite-Type Compounds $[(1-x)\text{La}, x\text{Ca}]\text{MnO}_3$, *Physical Review*, 100, 2, pp. 545-563.
4. Manke, I., Hartnig, C., Grünerbel, M., Kaczerowski, J., Lehnert, W., Kardjilov, N., Hilger, A., Banhart, J., Treimer, W., Strobl, M., (2007). Quasi-insitu Neutron Tomography on Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Stacks, *Applied Physics Letters*, 90, 8, pp. 184101-1-3.
5. Hakimabad Miri, H., Rafat, M. L., (2009). Improvement the Uniformity of the Gamma Production Rate Distribution with Depth in a Large Biological Sample for an IVNAA Facility, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 24, 2, pp. 119-125.
6. Hakimabad Miri, H., Rafat, M. L., Karimi, S. K., (2010). Activation Rate Uniformity in a Bilateral IVNAA Facility for Two Anthropomorphic Phantoms, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, 25, 2, pp. 69-77.
7. Miri, H. H., Vejdani, N. A., Panjeh, H., (2008). Improving the Moderator Geometry of an Anti-Personnel Landmine Detection System, *Applied Radiation and Isotopes*, 66, 5, pp. 606-611.
8. ICRP Publication 74, (1996). Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation, International Commission on Radiological Protection, Elsevier Health Sciences, Pergamon Press, Oxford, UK,
9. ICRP Publication 103, (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Elsevier Health Sciences, Pergamon Press, Oxford, UK,
10. Miri, H. H., Rafat, M. L., Karimi, S. K., (2009). Assessment of Neutron Fluence to Organ Dose Conversion Coefficients in the ORNL Analytical Adult Phantom, *Journal of Radiological Protection*, 29, 1, pp. 51-60.
11. Bramblett, R. L., Ewing, R. I., Bonner, T. W., (1960). A New Type of Neutron Spectrometer, *Nuclear Instruments and Methods*, 9, 1, pp. 1-12.
12. Awschalom, M., Sanna, R. S., (1985). Applications of Bonner Sphere Detectors in Neutron Field Dosimetry, *Radiation Protection Dosimetry*, 10, 1-4, pp. 89-101.
13. Jacobs, G. J. H., Van Den Bosch, R. L. P., (2011). Calibration Measurements with the Multisphere Method and R. Khabaz, et al.: Measurement of the Neutron Spectrum by the Multi-Sphere...*Nuclear Technology & Radiation Protection: Vol. 26, No. 2*, pp. 140-146 145.
14. Hertel, N. E., Davidson, J. W., (1985). The Response of Bonner Spheres to Neutrons from Thermal Energies to 17.3 MeV, *Nuclear Instruments and Methods*, 238, 2-3, pp. 509-516.

15. Liu, J. C., Hajnal, F., Sims, C. S., Kuiper, J., (1990). Neutron Spectral Measurements at ORNL, Radiation Protection Dosimetry, 30, 3, pp. 169-178.
16. Harvey, W. F., Hajnal, F., (1993). Multisphere Neutron Spectroscopy Measurements at the Los Alamos National Laboratory Plutonium Facility, Radiation Protection Dosimetry, 50, 1, pp. 13-30.
17. Mares, V., Schraube, G., Schraube, H., (1991). Calculated Neutron Response of a Bonner Sphere Spectrometer with ^3He Counter, Nuclear Instruments and Methods A, 307, 2-3, pp. 398-412.
18. Muller, H., Van Ryckeghem, L., Fernandez, F., Bouassoul, T., (2002). Monte Carlo Calculations and Experimental Results of Bonner Sphere Systems with a New Cylindrical Helium-3 Proportional Counter, Nuclear Instruments and Methods A, 476, 1-2, pp. 411-415.
29. 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, Nuclear Instruments and Methods A, 476, 1-2, pp. 31-35.
20. Sweezy, J. E., Hertel, N. E., Veinot, K. G., Karam, R. A., (1998). Performance of Multisphere Spectrometry Systems, Radiation Protection Dosimetry, 78, 4, pp. 263-272.
21. Thomas, D. J., Alevra, A. V., (2002). Bonner Sphere Spectrometers a Critical Review, Nuclear Instruments and Methods A, 476, 1-2, pp. 12-20.
22. Miguel Awaschalom, Robert S. Sann, (1983). Applications of Bonner Sphere detector in neutron field dosimetry. TM-1209, 1183.000,
23. International Standard ISO 8529. (2001). Reference neutron radiations – Part 1: Characteristic and methods of productions. International Standard ISO 8529-1
24. LND 2029 Cylindrical BF_3 Neutron Detector. Pass 1-1-2014
WWW.Indinc.com/neutron/2029.htm.
25. Rahim Khabaz and Hashem Miri Hakimabad. (2011). Evaluation of response matrix of a multisphere neutron spectrometer with water moderator, journal of physics Vol. 77, No. 4, pp. 599–609.
26. Albashir, K., Nahili M. and AL-Zawahera S. (2014). Calculation of the reaction rate and response matrix of a neutron spectroscopy consisting of a water sphere of variable diameter and BF_3 detector using the MCNP5-beta code, to be printed in journal of fundamental sciences, Damascus University.
27. MCNPTM-a (2000). General Monte Carlo N-Particle Transport Code: version 4C (Ed. J. F. Briesmeister), Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M, Los Alamos, N. Mex., USA.
28. Amgarou1, 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,