

حساب الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثلين وكاشف BF_3 منسوبة إلى مصدر النترونات $^{241}Am-Be$ باستعمال الكود MCNP5-beta

ماجدة نحيلي (1)

تاريخ الإيداع 2014/03/24
قبل للنشر في 2014/08/06

الملخص

استعمل في هذا العمل الكود MCNP5-beta لحساب توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر وكاشف النترونات الحرارية من النوع BF_3 منسوبة إلى مصدر النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي والنقطي، وحُسب كذلك معدل التفاعل $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ لكلا المصدرين بدءاً من توابع الاستجابة الطاقية لهما. بيّنت نتائج الحساب أن قيم الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي أكبر مما هي لحالة المصدر النقطي، وأن توابع الاستجابة الطاقية لكلا المصدرين تملك قماً توافق قمم طيف هذا المصدر التي تقع في مجال الطاقة $MeV (0.3-0.4)$ وذلك عند استعمال الكرات ذات الأقطار $inch 3.25, 4.20, 5.00$ وحول الطافتين $MeV 3.0, 5.0$ عند استعمال الكرات ذات الأقطار $inch 6.50, 8.00, 10.00$ وحول الطافتين $MeV 5.0, 7.0$ عند استعمال الكرتين $inch 12.00, 18.00$ ، كما أن الاستجابة الطاقية تبلغ قيمة عظمى عند استعمال الكرة ذات القطر $6.50 inch$ في حالة المصدر القرصي وعند استعمال الكرة ذات القطر $10.00 inch$ في حالة المصدر النقطي. أعطت نتائج حسابات توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}Am-Be$ القرصي والنقطي منحنيًا له شكل طيف هذا المصدر نفسه. قورنت قيم معدل التفاعل $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ المحسوبة من توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}Am-Be$ القرصي والنقطي بقيم معدل التفاعل المحسوبة لكامل طيف هذا المصدر ووجد توافق جيد ما بين هذه النتائج.

الكلمات المفتاحية: مطيافية، (نترونية)، كاشف BF_3 ، الاستجابة، تابع الاستجابة، مصدر نتروني $^{241}Am-Be$ ، كود MCNP5-beta.

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

Calculation of the energy response of a neutron spectrometer consisting of a polyethylene sphere of variable diameter and BF₃ detector for the ²⁴¹Am-Be neutron source using the MCNP5-beta code

M. Nahili⁽¹⁾

Received 24/03/2014

Accepted 06/08/2014

ABSTRACT

The MCNP5-beta code was used to calculate the neutron energy response of a neutron spectrometer consisting of a polyethylene sphere (of variable diameter) and a BF₃ detector for point and disk ²⁴¹Am-Be neutron sources. Based on the energy response, the reaction rates of the ¹⁰B(n,α)⁷Li reaction were also determined.

The neutron energy response for the disk ²⁴¹Am-Be neutron source shows higher values than that obtained for the point neutron source.

The response energy functions for disk and point ²⁴¹Am-Be neutron sources show clear peaks which overpass the peaks of the spectrum of ²⁴¹Am-Be neutron source which is located in the energy range (0.3-0.4) MeV by using the spheres 3.25, 4.20, 5.00 inch in diameter and at energies 3.0, 4.0 MeV by using the spheres 6.50, 8.00, 10.00 inch in diameter and at energies 5.0, 7.0 MeV using the spheres 12.00, 18.00 inch in diameter.

The neutron energy response for the disk ²⁴¹Am-Be neutron source shows a maximum value for the sphere of 6.50 inch in diameter, where the response with the point neutron source shows a maximum value for the sphere of 10.00 inch in diameter.

The energy spectrum for a ²⁴¹Am-Be neutron source was obtained from the energy response functions of the disk and point ²⁴¹Am-Be neutron sources .

The calculated reaction rates of the ¹⁰B(n, α)⁷Li reaction for the entire spectra of the point and the disk ²⁴¹Am-Be sources agreed well with those calculated from the neutron energy response functions of the point and the disk neutron sources.

Keywords: Neutron spectrometer, BF₃ detector, Response, Response function, Neutron source ²⁴¹Am-Be, MCNP5-beta code.

⁽¹⁾ Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria

1. المقدمة

تعتمد كثير من المطيافيات النترونية المستعملة حالياً على طرائق اقترحت قبل العام 1960، وتعدّ الأفلام التصويرية (photographic film) ومقاييس الجرعة اللونية والحرارية (calorimeters and color dosimeters) وحجيرات التأين (Ionization chambers) والعدادات التناسبية (proportional counters) وعداد غايغر مولر (Geiger Muller counter) وعدادات الوميض (scintillation counters) من وسائل الكشف عن الإشعاع في ثلاثينيات القرن الماضي. ومع ازدياد تطبيقات النترونات في المجالات كلها (الفيزيائية والطبية والنفطية والبيولوجية والكيميائية.... إلخ) أصبحت الحاجة ماسة لتطوير المطيافيات الإشعاعية المستعملة لقياس الجرعة النترونية والأطياف النترونية [1].

تعدّ مطيافية كرات بونر [Bonner Spheres Spectrometer (BSS)] من المطيافيات النترونية الأولى التي استعملت في مجال قياس الطيوف والجرع النترونية. وتتكون مطيافية BSS من كاشف للنترونات الحرارية [بلورة أسطوانية قائمة من ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$, 4mmx4mm] يوضع في مراكز خمس كرات من البولي إيثيلين يتدرج قطرها من 2 إلى 12 inch (5.08-30.48 cm). ويتميز مطياف BSS بأنه يغطي مجالاً واسعاً من الطاقة، إذ يمكن بواسطة مطياف BSS المطور الكشف عن النترونات في المجال الطاقوي من الحراري إلى GeV مع إمكان التمييز بين النترونات والأشعة غاما ومن مساوئه مقدرة الفصل المنخفضة للنترونات والوزن الزائد [2].

ترتبط استجابة نظام كشف النترونات بالتوزيع الطاقوي لتدفق النترونات في مركز المهدئ، وإذا وضع نظام كشف النترونات في مراكز مجموعة من الكرات المهدئة مختلفة الأقطار فسيكون لكل مجموعة كاشف - كرة استجابة مختلفة تبعاً لطاقة النترونات، ويعبر عن هذه الاستجابة بمعادلة Fredholm غير المتجانسة [3]:

$$r_i = \int_0^{\infty} R_i(E) \times \Phi(E) \times dE \quad (i=1,2,\dots,M) \quad (1)$$

إذ:

$r_i(\text{count})$ - الاستجابة الطاقوية لجملة كاشف - كرة i ,

$R_i(E) (\text{cm}^2)$ - تابع الاستجابة الطاقوية لجملة كاشف - كرة i كدالة لطاقة النترونات،

$\Phi(E) (\text{cm}^{-2} \cdot \text{MeV}^{-1})$ - التوزيع الطاقوي للتدفق النتروني،

M - عدد كرات المطيافية.

لا يوجد للمعادلة (1) حل وحيد يعين الدالة المستمرة $\Phi(E)$ وذلك بسبب عدد القياسات المنفصلة والمحدودة بعدد الكرات M ، ويستخدم التقريب الخطي لتحويل هذه المعادلة إلى معادلة مصفوفة خطية [3]:

$$r_i = \sum_{j=1}^N R_{ij} \times \Phi_j \times \Delta E_j \quad (2)$$

إذ:

$r_i(\text{count})$ - الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i ,

$R_{ij} (\text{cm}^2)$ - الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i للنترونات ذات الطاقة E_j ,

$\Phi_j (\text{cm}^{-2} \cdot \text{MeV}^{-1})$ - التوزع الطاقى للتدفق النتروني في مجال الطاقة ΔE_j ,

ΔE_j - العرض الطاقى للمجموعة j ,

N - عدد مجالات الطاقة التي يجزأ إليها طيف المصدر النتروني.

تُعين مصفوفة الاستجابة الطاقية إما عملياً بواسطة حقول نترونية عيارية أو حسابياً بطرائق المحاكاة عن طريق استعمال كودات حاسوبية معروفة، والحصول على مصفوفة الاستجابة عملياً هو الأفضل ولكنه أمر صعب ومحدود لعدة أسباب:

1- قلة عدد الحقول النترونية وحيدة الطاقة المتاحة والخاضعة لشروط الحقول العيارية، هذا فضلاً عن أن مدى الطاقة فيها محدود ولا يغطي مجالاً طاقياً واسعاً.

2- تبعثر النترونات على جدران الغرفة وعلى ذرات الهواء المحيطة بالتجربة.

3- تأثير الترتيب الهندسي للتجربة.

4- ضعف الاستجابة الطاقية الفعلية لجملة كاشف - كرة للمصادر النترونية الضعيفة.

من هنا تتبع أهمية الحصول على توابع الاستجابة الطاقية بالطرائق الحسابية ولهذه الغاية يستخدم مثلاً الكودان ANISN و MCNP. تعتمد هذه الطرائق على المقاطع العرضية للتأثيرات المتبادلة للنترونات مع المادة والمتوافرة في مكتبة الكود، وعلى تقسيم طاقة المصدر النتروني إلى عدة مجالات طاقية، وعلى طرائق تقليل الارتياح [4,5].

2. المهدئات

تخضع النترونات فوق الحرارية والسريعة في أثناء انتقالها في وسط مادي لعملياتي التبعثر المرن وغير المرن، وبذلك تفقد جزءاً من طاقتها إلى أن تصل إلى التوازن الحراري وتعرف هذه العملية بتهديئة النترونات أو أنها تهرب من المهدئ. تتميز المهدئات بكبر نسبة مقطع التبعثر إلى مقطع الامتصاص، عندئذ يصل عدد كبير من النترونات إلى المجال الحراري قبل امتصاصها في الوسط. تتكون المواد المهدئة الجيدة بشكل رئيس من

الهدروجين أو الديتيريوم أو البيريليوم أو الكربون أو الأكسجين. وتعد كرات البولي إيثيلين المهدئة خياراً عاماً لمستخدمي طريقة مطياف (BSS) لكشف النيوترونات، إذ ينتج التناظر الكروي للكاشف في مركز الكرة استجابة متماثلة المناحي. تراوح كثافة البولي إيثيلين التجاري بين $0.91-0.96 \text{ g/cm}^3$. ويؤثر تغير كثافة البولي إيثيلين بشكل فعال في نتائج القياس، ويتميز البولي إيثيلين الشائع الاستعمال بكثافة عالية ($\rho=0.96 \text{ g/cm}^3$) [3].

3. غرض البحث:

يتناسب معدل التفاعل الذي يقيسه الكاشف النيروني مع الطيف الطاقوي للمصدر النيروني، وللحصول على الطيف الطاقوي لمصدر نيروني ما تستعمل طرائق بسط الطيف (Spectrum unfolding) التي تعتمد على معرفة مصفوفة الاستجابة الطاقوية بدقة [5].

استعمل في هذا العمل الكود MCNP5-beta [6] لحساب كل من:

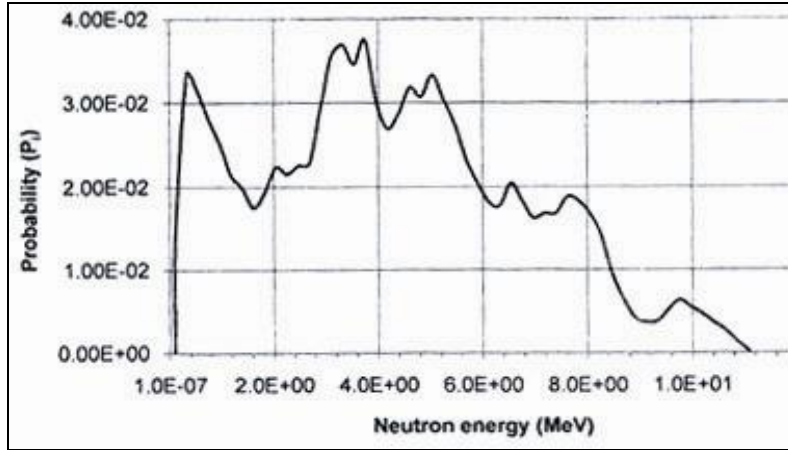
- توابع الاستجابة الطاقوية لمطيافية نيرونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثيلين وكاشف للنيوترونات الحرارية من النوع BF_3 وبوجود مصدر نيروني افتراضي (احتمال إصداره للنيوترونات وحيدة الطاقة يساوي الواحد) قرصي ونقطي - إصداران حزاماً نيرونية وحيدة الطاقة تغطي المجال الطاقوي $(10^{-9}-20) \text{ MeV}$ ،

- توابع الاستجابة الطاقوية لمصدر النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي باستعمال المطيافية السابقة،

- معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ بدءاً من توابع الاستجابة الطاقوية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي.

4. المصدر النيروني $^{241}\text{Am-Be}$

يتكون مصدر النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ من خليط متجانس من النظيرين ^{241}Am و ^9Be إذ يكون البيريليوم أغلب مادته. وتتسأ النيوترونات من المصدر $^{241}\text{Am-Be}$ نتيجة للتفاعل $^{12}\text{C}^{9}\text{Be}(\alpha,n)$ الذي يجري بواسطة الجسيمات ألفا المنبعثة من ^{241}Am . ويتميز المصدر $^{241}\text{Am-Be}$ بطيف نيروني مستمر يقع 98% منه في مجال النيوترونات السريعة $(0.1-10.8) \text{ MeV}$ ، وبطاقة وسطية 5.48 MeV ، وبأن نسبة إصدار الفوتونات غاما إلى إصدار النيوترونات هي 59.6%. ويوضح الشكل (1) طيف مصدر النيوترونات $^{241}\text{Am-Be}$ المستعمل في المحاكاة في هذا العمل [7].



الشكل (1) طيف النوترونات الصادرة عن المصدر ²⁴¹Am-Be (ISO 8529-1) [7]

5. توصيف المطيافية النترونية المستعملة في هذا العمل:

تتكون المطيافية النترونية التي جرى نمذجتها نظرياً باستعمال الكود MCNP5-beta من ثماني كرات من البولي إيثلين متغيرة الأقطار 3.25, 4.20, 5.00, 6.50, 8.00, 10.00, 12.00, 18.00 inch ومحاطة بغلاف من الألمنيوم سمكه 2 mm تستعمل لتهدئة النوترونات ومن كاشف للنوترونات الحرارية من النوع BF₃ (قطره 2.54cm وطوله 28.20m ويحوي 96% من نظير البور ¹⁰B وضغط الغاز بداخله 0.92atm وكثافته 0.002568 g/cm³ عند الدرجة 293 K [8]- هذا الكاشف من نموذج LND-2210). ويوضح الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF₃.

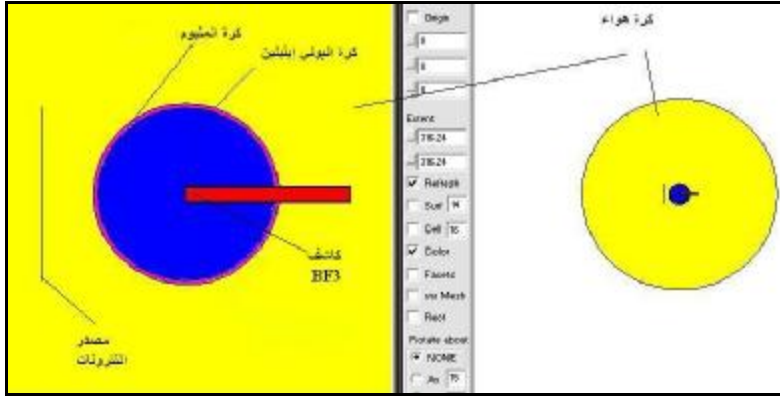
الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للكاشف BF₃ [9] المستعمل في المحاكاة باستعمال الكود MCNP5-beta.

كاشف النوترونات الأسطواني BF ₃ (نموذج LND 2210)	
142.892	الحجم الفعال للكاشف BF ₃ (cm ³)
0.92	ضغط الغاز الذي يملأ أنبوبة الكاشف BF ₃ (atm)
96% ¹⁰ B, 4% ¹¹ B, 300% F ₃	تركيب الغاز BF ₃ (النسب الذرية)
0.002568	كثافة الغاز BF ₃ (g/cm ³)
67.1	الوزن الجزيئي للغاز BF ₃ (g)

6. نمذجة المطيافية النترونية باستعمال الكود MCNP5-beta

يوضح الشكل (2) رسماً تخطيطياً للمطيافية النترونية (كرة البولي إيثلين، كاشف، مصدر نتروني) المعتمدة لحساب توابع الاستجابة الطاقية النترونية باستعمال الكود MCNP5-beta.

استعمل مصدر نتروني على شكل قرص مهمل السمك وآخر على شكل نقطي وعن بعد 25.0 cm عن مركز كرة المهدي، ووضعت أنبوبة الكاشف BF₃ داخل كرة المهدي بحيث تقع إحدى قاعدتيها في مركز الكرة وينطبق المحور OX على محورها.



الشكل (2) رسم تخطيطي للمطابقة النترونية (كرة بولي إيثيلين، كاشف، مصدر نتروني) باستعمال رسام الكود MCNP5-beta.

7. توصيف مصدر النترونات:

وصف مصدرا النترونات باستعمال بطاقة المصدر SDEF المتاحة في الكود MCNP5-beta على شكل نقطي وعلى شكل قرص مهمل السمك (وضع المصدر القرصي بشكل عمودي على المحور OX وتصدر النترونات عن وجهه الأمامي وتنتشر باتجاه كرة البولي إيثيلين على شكل حزمة متوازية متساوية المقطع مع كرة البولي إيثيلين) وعن بعد 25 cm عن مركز كرة المهدي، ويصدران مجموعة حزم نترونية متجانسة ومتماثلة الطاقة وتتحرك بالاتجاه الموجب للمحور OX وتغطي مجالاً طاقياً يمتد من 10^{-9} MeV إلى 20MeV. واستعملت البطاقتان F4 و Fm4 المتاحتان في الكود MCNP5-beta على التوالي لحساب تدفق النترونات الحرارية ومعدل التفاعل الذي يعبر عن عدد جسيمات ألفا الناتجة عن التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ في الحجم الفعال للكاشف BF₃ منسوبة إلى نيوترون واحد من المصدر.

8. حساب توابع الاستجابة الطاقية لمطابقة نترونية مكونة من كرة من البولي إيثيلين وكاشف النترونات BF₃

تعطى الاستجابة الطاقية لجملة كرات البولي إيثيلين وكاشف النترونات BF₃ عند تعريضها لمصدر نتروني نقطي أو قرصي، ويصدر عنهما مجموعة حزم نترونية متجانسة ومتماثلة الطاقة تغطي مجالاً طاقياً (20-10⁻⁹) MeV بالعلاقة الآتية [10]:

$$r_i(E) = \sum_{j=1}^{n=76} r_i(E_j) \quad (i=1, 2, \dots, 8) \quad (3)$$

إذ:

$r_i(E)$ - الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i كتابع لطاقة النترونات مقدره بالواحدة (count)

$r_i(E_j)$ - الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i للنترونات ذات الطاقة E_j مقدره بالواحدة (count)

$n=76$ عدد قيم المجال الطاقى المعتمد لحساب تابع الاستجابة،

($i=1, 2, \dots, 8$) عدد كرات المطيافية المعتمدة في الحساب.

استعمل الكود MCNP5-beta لحساب توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثلين والكاشف BF₃، وذلك باعتماد التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ ، إذ وضع الكاشف BF₃ في مراكز كرات البولي إيثلين المعتبرة كما هو مبين في الفقرة 6.

استعملت البطاقة Fm4 لحساب معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ الناتج عن التدفق النتروني $\phi(E_j)$ الذي يعبر عن الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i للنترونات ذات الطاقة E_j وفق العلاقة الآتية [11]:

$$r_i(E_j) = N_B \times j(E_j) \times \sigma_{th}(E) \times V \quad (i=1, 2, \dots, 8) \quad (4)$$

إذ:

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

$\phi(E_j)(\text{n}/\text{cm}^2)$ - التدفق التكاملي للنترونات الحرارية داخل الكاشف BF₃ الموافق للنترونات ذات الطاقة E_j ،

$\sigma_{th}(E) (\text{cm}^2)$ - المقطع العرضي للتفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ للنترونات الحرارية،

$V(\text{cm}^3)$ - الحجم الفعال للكاشف BF₃،

ويمثل تغير استجابة جملة كاشف - كرة i بدلالة طاقة النترونات ما يسمى تابع الاستجابة الطاقية لهذه الجملة.

استعملت العلاقتان (4) و (3) لحساب الاستجابة وتوابع الاستجابة الطاقية لمصدر نتروني افتراضي قرصي وآخر نقطي من أجل $N=76$ مجموعة طاقية تغطي مجالاً طاقياً يمتد من 10^{-9} MeV إلى 20 MeV لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر والكاشف BF₃ منسوبة إلى نترون واحد من المصدر.

9. حساب توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثيلين والكاشف BF_3

يعبر عن الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثيلين متغيرة القطر وكاشف النترونات BF_3 منسوبة إلى نترون واحد من المصدر بالعلاقة الآتية [3]:

$$r_i^{\text{Am-Be}} = \sum_{j=1}^{N=54} r_{ij}^{\text{Am-Be}} = \sum_{j=1}^{N=54} r_{ij} \times B_j^{\text{Am-Be}} \times \Delta E_j \quad (i=1,2,\dots,8) \quad (5)$$

إذ:

$r_i^{\text{Am-Be}}$ (count) - الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ باستعمال جملة كاشف - كرة i ،

$r_{ij}^{\text{Am-Be}}$ (count) - الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ باستعمال جملة كاشف - كرة i عند المجموعة الطاقية j ،

r_{ij} (count) - الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i عند المجموعة الطاقية j ،

$B_j^{\text{Am-Be}}$ (MeV^{-1}) - التوزع الطاقى (المنظم للواحد) لطيف المصدر $^{241}\text{Am-Be}$ في المجال ΔE_j .

$N=54$ عدد المجموعات الطاقية ذات العرض ΔE_j لطيف المصدر $^{241}\text{Am-Be}$ ،

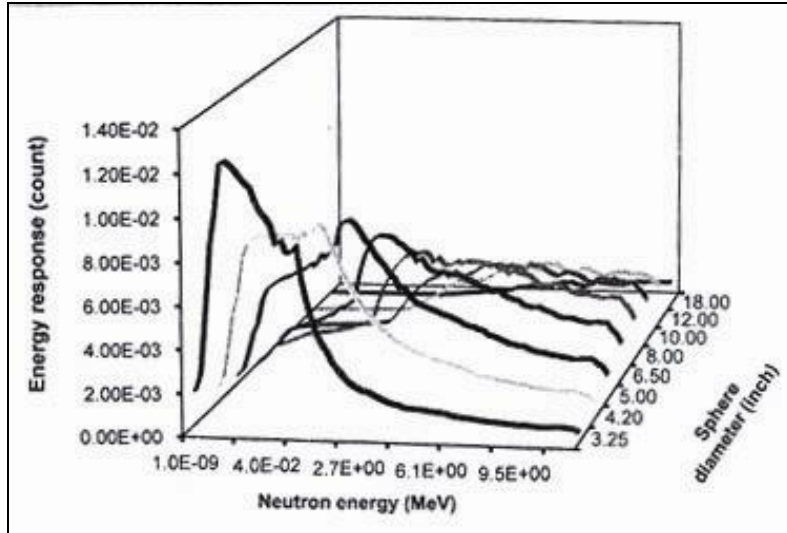
$(i=1,2,\dots,8)$ عدد كرات البولي إيثيلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 .

استعملت المعادلة (5) لحساب الاستجابة وتوابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي، وذلك باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثيلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 . أخذت قيم المقدارين ΔE_j و $B_j^{\text{Am-Be}}$ وفق المرجع [7]، وأخذت قيم r_{ij} المحسوبة سابقاً والموضحة في الشكلين (3) و (4).

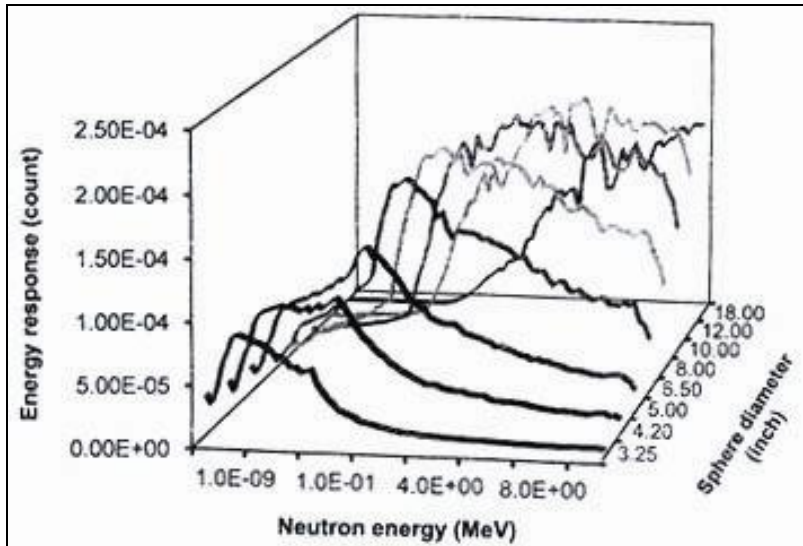
10. النتائج والمناقشة

يوضح الشكلان (3) و (4) توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة متغيرة القطر من البولي إيثيلين والكاشف BF_3 كتابع لطاقة النترونات في مجال الطاقة MeV (10^{-9} -20) في حالة مصدر نتروني قرصي ونقطي.

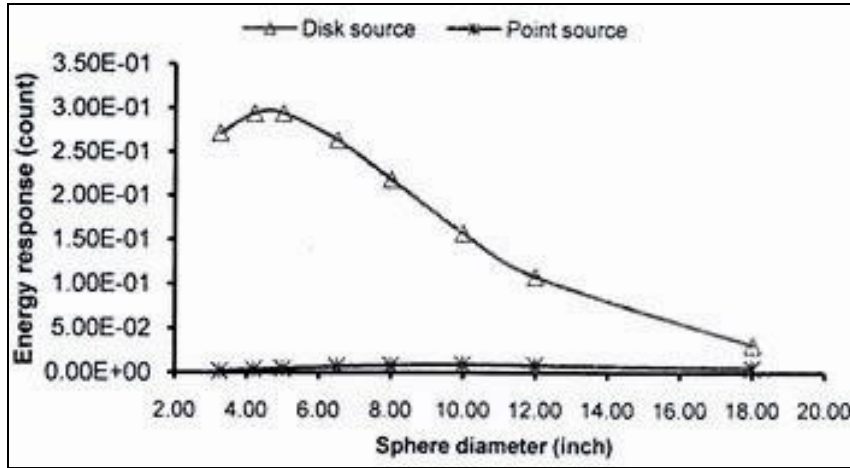
يوضح الشكل (5) الاستجابة الطاقية لجملة كاشف - كرة i كتابع لأقطار كرات البولي إيثيلين في مجال الطاقة MeV (10^{-9} -20) في حالة مصدر نتروني قرصي ونقطي.



الشكل (3) توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إثلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 في حالة مصدر نتروني قرصي.



الشكل (4) توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إثلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 في حالة مصدر نتروني نقطي.



الشكل (5) الاستجابة الطاقية لجملة كرة- كاشف في مجال الطاقة $MeV (10^9-20)$ كتاب لأقطار كرات البولي إيثيلين.

نلاحظ من الشكل (3) أن الاستجابة الطاقية لجملة كرات البولي إيثيلين والكاشف BF_3 في حالة مصدر النترونات القرصي تزداد مع ازدياد طاقة نترونات المصدر وتمر بقيمة عظمى ثم تبدأ بالتناقص، حيث تظهر هضبة عريضة للاستجابة توافق تقريباً جميع طاقات نترونات المصدر بالنسبة إلى الكرتين 3.25 و 4.20 inch، وقم استجابة تنزاح نحو اليمين وتتركز حول الطاقات 0.6, 1.5, 4.39, 4.61, 7.0, 11.03 MeV عند استعمال الكرات ذات الأقطار 5.00, 6.50, 8.00, 10.00, 12.00, 18.00 inch على الترتيب، كما أن توابع الاستجابة الطاقية تتناقص مع ازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين.

نلاحظ من الشكل (4) أن الاستجابة الطاقية لجملة كرات البولي إيثيلين والكاشف BF_3 في حالة مصدر النترونات النقطي تزداد مع ازدياد طاقة نترونات المصدر وتمر بقيمة عظمى ثم تبدأ بالتناقص، حيث تظهر هضبة عريضة للاستجابة توافق تقريباً جميع طاقات نترونات المصدر عند استعمال الكرتين 3.25 و 4.20 inch، وقم استجابة تنزاح نحو اليمين وتتركز حول الطاقات 0.70, 1.61, 2.47, 7.18, 11.03 MeV بالنسبة إلى الكرات ذات الأقطار 5.00, 6.50, 8.00, 10.00, 12.00, 18.00 inch على الترتيب، كما أن الاستجابة الطاقية تزداد بازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين بعكس ما هو ملاحظ في حالة المصدر القرصي.

ويلاحظ من الشكل (5) أن الاستجابة الطاقية لجملة كرات البولي إيثيلين والكاشف BF_3 تكون أكبر بكثير في حالة مصدر النترونات القرصي مقارنة بحالة المصدر النقطي، وأن هذه الاستجابة تزداد مع ازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين وتبلغ قيمة عظمى من أجل الكرة

ذات القطر 5.00 inch في حالة المصدر القرصي ومن أجل الكرة 10.00 inch في حالة المصدر النقطي.

نلاحظ مما سبق أن الاستجابة الطاقية النترونية ترتبط بطاقة نترونات المصدر وبشكل مصدر النترونات ويقطر كرة البولي إيثلين، إذ يزداد المقطع الكلي لتبعثر النترون وامتصاصه في البولي إيثلين مع نقصان طاقة النترونات (ويلاحظ ذلك بالاستجابة الكبيرة للنترونات منخفضة الطاقة في حالة الكرات الصغيرة وبظهور قمم الاستجابة للنترونات كبيرة الطاقة في حالة الكرات الكبيرة) بالنسبة إلى مصدر النترونات القرصي والنقطي.

ومع ازدياد أقطار الكرات تزداد نسبة النترونات الحرارية المتشكلة بنتيجة عملية تهذئة النترونات كبيرة الطاقة في البولي إيثلين ويرافق ذلك ازدياد للمقطع الماكروسكوبي لامتصاص النترونات الحرارية فيه، لذا تزداد الاستجابة الطاقية بازدياد أقطار الكرات وتبلغ قيمة عظمى ثم تتناقص مع ازدياد أقطار الكرات (قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 5.00 inch في حالة المصدر النتروني القرصي ومن أجل الكرة ذات القطر 10.00 inch في حالة المصدر النتروني النقطي)، كما يظهر تأثير شكل المصدر في ازدياد تدفق النترونات الساقطة من المصدر على سطح الكرة المقابل له بازدياد أقطار الكرات إذ تكون هذه الزيادة أسرع في حالة المصدر النقطي مقارنة بحالة المصدر القرصي، وذلك لأن التدفق النتروني الساقط على سطح الكرة يتناسب مع $(\pi R^2/(d-R)^2)$ في حالة المصدر النقطي ومع $(\pi R^2/(d-R))$ في حالة المصدر القرصي إذ هو نصف قطر الكرة و $d=25$ cm هي المسافة بين مصدر النترونات ومركز كرة البولي إيثلين [8] لذا تزداد الاستجابة الطاقية في مجال الطاقة (20-10⁻⁹) MeV مع ازدياد أقطار الكرات في حالة مصدر النترونات النقطي في حين تتناقص مع ازدياد أقطار الكرات في حالة المصدر القرصي، إلا أن قيم الاستجابة الطاقية في مجال الطاقة (20-10⁻⁹) MeV لمصدر النترونات القرصي تكون أكبر مما هي للمصدر النقطي و يبرز هنا ثانية تأثير شكل المصدر إذ تصدر النترونات عن المصدر القرصي على شكل حزمة متوازية بزواوية 2π راديان ويساوي مقطعها مقطع الكرة، بينما تصدر عن المصدر النقطي على شكل حزمة متباعدة بزواوية مجسمة 4π سنيراديان ويسقط فقط جزء منها على سطح الكرة ويتناسب هذا الجزء مع الزاوية المجسمة $d\Omega$ التي يرى منها مقطع الكرة πR^2 من مكان توضع المصدر (ويلاحظ ذلك في استجابة جملة كاشف - كرة التي تبلغ قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 5.00 inch في حالة المصدر القرصي في حين تظهر هذه القمة من أجل الكرة ذات القطر 10.00 inch في حالة المصدر النقطي).

ويوضح الشكلان (6) و(7) توابع الاستجابة الطاقية للمصدر ²⁴¹Am-Be النقطي والقرصي كتابع لطاقة النترونات باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر والكاشف BF₃.

ويوضح الشكل (8) توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي والقرصي كتابع لأقطار كرات البولي إيثيلين.

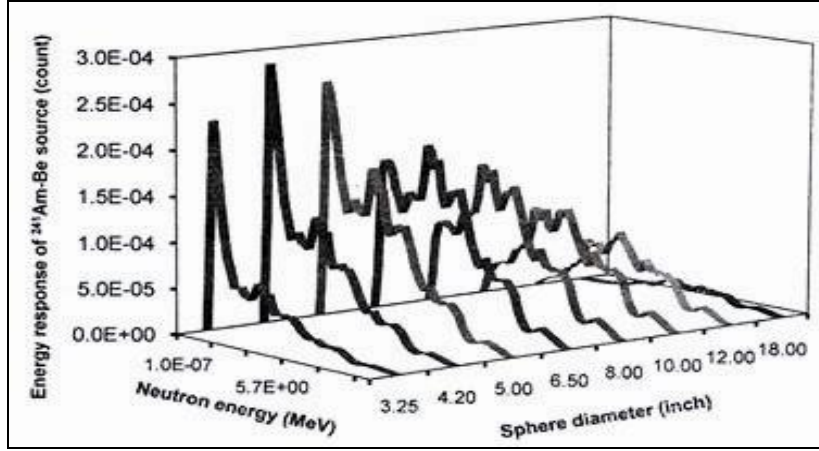
يلاحظ من الشكل (6) أن تابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي باستعمال الكرتين 3.25, 4.20 inch يملك قمة ضيقة واضحة تتركز في مدى الطاقة (0.3-0.4) MeV وقمة صغيرة تقع عند الطاقة 3.0 MeV، وباستعمال الكرتين 5.00, 6.50 inch يزداد عرض قمة الاستجابة في مدى الطاقة (0.3-1.0) MeV ويزداد ارتفاع قمة الاستجابة عند الطاقة 3.0 MeV، ومع ازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين تختفي قمة الاستجابة الطاقية الأولى، وتتركز قمتان واضحتان حول الطاقيتين 3.0, 5.0 MeV باستعمال الكرات ذات الأقطار 8.00, 10.00, 12.00 inch وحول الطاقيتين 5.0, 7.0 MeV باستعمال الكرة 18.00 inch، كما يلاحظ أن الاستجابة الطاقية للكرتين 12.00, 18.00 inch تساوي الصفر تقريباً بالنسبة إلى النترونات التي طاقتها أقل من 0.1 MeV و 1.0 MeV على الترتيب، وأن الاستجابة تتناقص مع ازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين.

توضح مقارنة الشكل (6) بالشكل (1) أن توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي باستعمال كرات البولي إيثيلين 3.25, 4.20, 5.00, 6.50 inch تظهر قمة عظمى توافق قمة طيف المصدر التي تقع في مجال الطاقة (0.3-0.4) MeV وباستعمال الكرتين 8.00, 10.00 inch تظهر قمة عظمى توافق قمة طيف المصدر التي تقع حول الطاقة 3.0 MeV، وباستعمال الكرات 8.00, 10.00, 12.00, 18.00 inch تظهر قمتان عظيميان توافقان طيف المصدر في مجال الطاقة (3.0-4.0) MeV وحول الطاقة 5.0 MeV.

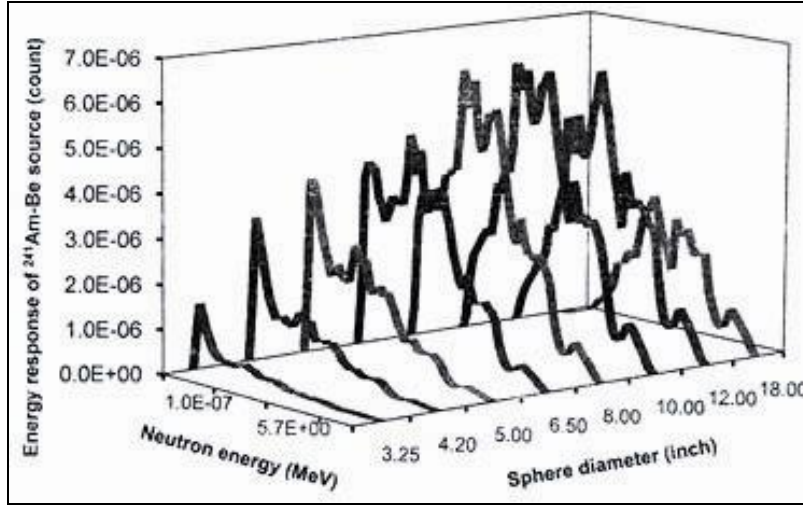
يوضح الشكل (7) أن توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي تملك قمة ضيقة واضحة تتركز في مدى الطاقة (0.3-0.4) MeV باستعمال الكرتين 3.25, 4.20 inch وأن عرض هذه القمة يزداد وينزاح نحو اليمين في مجال الطاقة (0.2-1.0) MeV باستعمال الكرتين 5.00, 6.50 inch، كما يلاحظ وجود قمة ثانية تتركز حول الطاقة 3.0 MeV، وباستعمال الكرات ذات الأقطار 8.00, 10.00, 12.00, 18.00 Inch تبدأ قمة الاستجابة الطاقية الأولى بالاختفاء مع ازدياد قطر الكرة، حيث تتركز قمتان واضحتان حول الطاقيتين 3.0 و 5.0 MeV في حالة الكرات ذات الأقطار 8.00, 10.00, 12.00 inch وحول الطاقيتين 5.0, 6.45 MeV في حالة الكرة 18 inch، كما أن الاستجابة الطاقية تتناقص مع ازدياد قطر الكرة بدءاً من الكرة 12.00 inch، إذ إن الاستجابة الطاقية للكرتين 12.00, 18.00 inch تساوي الصفر تقريباً بالنسبة إلى النترونات المصدر التي طاقتها أقل من 0.1 MeV و 1 MeV على الترتيب.

توضح مقارنة الشكل (7) بالشكل (1) أن توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي باستعمال كرتي البولي إيثيلين 3.25, 4.20 inch تملك قمة عظمى

توافق قمة طيف المصدر التي تقع في مجال الطاقة (0.3-0.4) MeV، وباستعمال الكرات توافق قمة طيف المصدر التي تقع في مجال الطاقة (3.0-4.0) MeV وباستعمال الكرتين 12.00, 18.00 inch تملك قمتان توافقان طيف المصدر حول الطاقتين 5.0, 7.0 MeV.

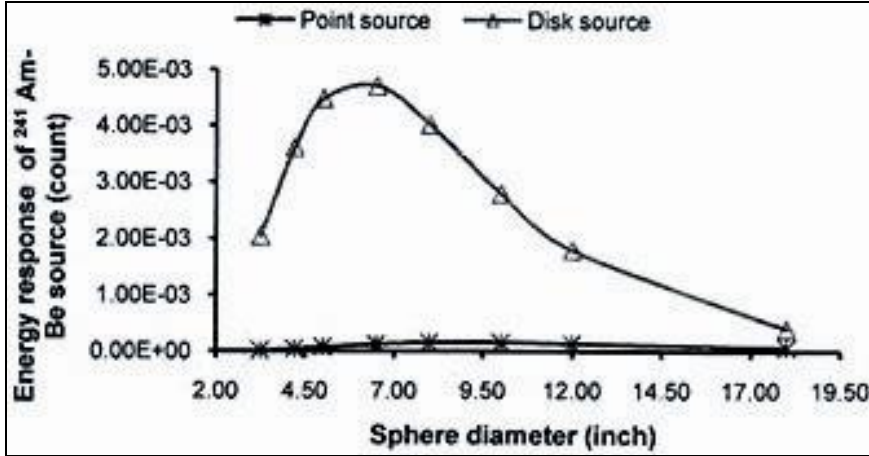


الشكل (6) توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}Am-Be$ القرصي باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 .



الشكل (7) توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}Am-Be$ النقطي باستعمال مطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر والكاشف BF_3 .

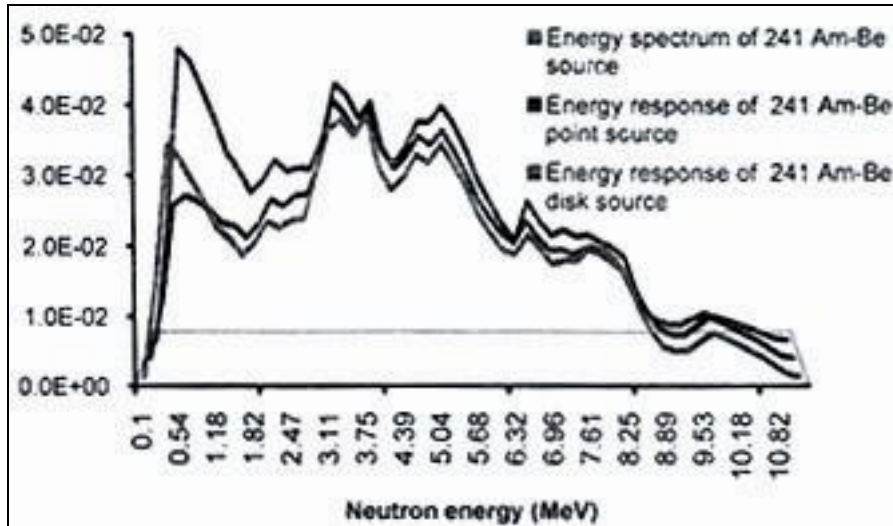
نلاحظ من الشكل (8) أن الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي أكبر بوضوح مما هي للمصدر النقطي، إذ يبلغ الفرق بينهما % 99.32 من أجل الكرة ذات القطر 3.25 inch وينقص هذا الفرق مع ازدياد قطر الكرة ويبلغ القيمة % 83.31 في حالة الكرة ذات القطر 18.00 inch، كما يلاحظ أن الاستجابة الطاقية تصل إلى قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 6.50 inch في حالة المصدر القرصي، ومن أجل الكرة ذات القطر 10.00 inch في حالة المصدر النقطي.



الشكل (8) الاستجابة الطاقية لجملة كرة - كاشف منسوبة إلى مصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي كتابع لأقطار كرات البولي إيثيلين

وإذا جمعت الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ لكل كرة من الكرات ومن أجل كل قيمة من قيم المجالات الطاقية ΔE_j للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ ، وبتمثيل النتيجة كتابع لطاقة النترونات نحصل على المنحنيين الموضحين في الشكل (9) للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي.

يوضح الشكل (9) أن مجموع الاستجابات الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي (بعد ضربها بمعامل تنظيم على المساحة 42.2) والنقطي (بعد ضربها بمعامل تنظيم على المساحة 1320) لكرات البولي إيثيلين الثماني من أجل كل قيمة من قيم المجالات الطاقية ΔE_j لطيف المصدر يعطي شكلاً مشابهاً لشكل طيف المصدر من حيث موقع القمة الأولى في مدى الطاقة (0.3-0.4) MeV والقمة الثانية في مدى الطاقة (3.0-4.0) MeV والقمة الثالثة حول الطاقة 5.0 MeV، وهذا يثبت أن توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ تتضمن معلومات عن طيف هذا المصدر.



الشكل (9) مجموع الاستجابات الطاقية لكرات المطيافية المعتبرة في حالة المصدر $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي والقرصي.

استعملت نتائج حسابات توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي للحصول على معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ لهذا المصدر، وقورنت قيم هذا المعدل بقيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ المحسوبة في العمل [8] للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي، وذلك بنمذجة المطيافية النترونية نفسها المعتمدة في هذا البحث باستعمال الكود MCNP5-beta (وصف مصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ في العمل [8] باستعمال البطاقة SDEF على شكل نقطي وقرص مهمل السمك ووضع بشكل عمودي على المحور ox، ويصدر نترونات متعددة الطاقة بشكل منتظم ولها اتجاه واحد هو الاتجاه الموجب للمحور ox، واستعملت قيم الطيف النتروني لهذا المصدر التي أدخلت في ملف الدخل باستعمال البطاقتين pi و si المتاحتين في الكود MCNP5-beta [7]).

ويوضح الجدولان (2) و(3) مقارنة قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ المحسوبة من توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ (C_d) في هذا العمل بتلك المحسوبة للمصدر نفسه (C_T) القرصي والنقطي في العمل [8].

الجدول (2) مقارنة قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ المحسوبة من توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي بتلك المحسوبة للمصدر نفسه في العمل [8]

Sphere diameter (inch)	C_d (count)	C_T (count)	C_T/C_d
3.25	2.04E-03	2.11E-03	1.04E+00
4.20	3.61E-03	3.66E-03	1.01E+00
5.00	4.48E-03	4.47E-03	9.98E-01
6.50	4.71E-03	4.77E-03	1.01E+00
8.00	4.02E-03	4.00E-03	9.96E-01
10.00	2.78E-03	2.74E-03	9.85E-01
12.00	1.80E-03	1.71E-03	9.55E-01
18.00	4.03E-04	3.86E-04	9.57E-01

الجدول (3) مقارنة قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ المحسوبة من توابع الاستجابة الطاقية للمصدر $^{241}\text{Am-Be}$ النقطي بتلك المحسوبة للمصدر نفسه في العمل [8]

Sphere diameter (inch)	C_d (count)	C_T (count)	C_T/C_d
3.25	1.38E-05	1.52E-05	1.10E+00
4.20	4.05E-05	4.06E-05	1.00E+00
5.00	7.07E-05	7.07E-05	1.00E+00
6.50	1.23E-04	1.24E-04	1.00E+00
8.00	1.54E-04	1.50E-04	9.76E-01
10.00	1.58E-04	1.53E-04	9.71E-01
12.00	1.37E-04	1.34E-04	9.78E-01
18.00	6.73E-05	6.41E-05	9.52E-01

نلاحظ من الجدولين (2) و(3) التوافق الكبير بين قيم معدل التفاعل $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ المحسوبة من توابع الاستجابة الطاقية لمصدر النترونات $^{241}\text{Am-Be}$ القرصي والنقطي وبين تلك المحسوبة للمصدر نفسه في العمل [8]، إذ بلغ متوسط القيمة المطلقة للفرق النسبي بينهما $(C_T - C_d)/C_T$ القيمة % 0.56 في حالة المصدر القرصي والقيمة % 0.35 في حالة المصدر النقطي، كما أن معدل التفاعل يزداد بازدياد أقطار كرات البولي إيثيلين ويبلغ قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 6.50 inch في حالة المصدر القرصي ومن أجل الكرة ذات القطر 10.00 inch في حالة المصدر النقطي.

11. الاستنتاجات:

استعمل الكود MCNP5-beta في هذا العمل لحساب توابع الاستجابة الطاقية لمطيافية نترونية مكونة من كرة من البولي إيثلين متغيرة القطر وكاشف النترونات الحرارية من النوع BF₃ في مجال الطاقة من MeV (10⁻⁹-20) وبوجود مصدر نتروني قرصي ونقطي، وكذلك للحصول على توابع الاستجابة الطاقية للمصدر ²⁴¹Am-Be ومعدل التفاعل ¹⁰B(n, α)⁷Li بدءاً من الاستجابة الطاقية للمصدر ²⁴¹Am-Be القرصي والنقطي. وبينت نتائج الحساب أن الاستجابة الطاقية لحالة مصدر النترونات ²⁴¹Am-Be القرصي أكبر مما هي عليه للمصدر النقطي، وأن توابع الاستجابة الطاقية للمصدر ²⁴¹Am-Be القرصي والنقطي تملك قمماً عظمى توافق قمم طيف هذا المصدر، وأن هذه الاستجابة تبلغ قيمة عظمى من أجل الكرة ذات القطر 5.00 inch في حالة المصدر القرصي ومن أجل الكرة ذات القطر 10.00 inch في حالة المصدر النقطي. أعطت نتائج حسابات توابع الاستجابة الطاقية للمصدر ²⁴¹Am-Be القرصي والنقطي منحنيًا له شكل طيف هذا المصدر نفسه، وكذلك أعطت تطابقاً كبيراً بين قيم معدل التفاعل ¹⁰B(n, α)⁷Li المحسوبة من هذه التوابع وبين تلك المحسوبة للمصدر نفسه ²⁴¹Am-Be القرصي والنقطي في العمل [8].

References

1. Brooks, F. D., Klein, H. (2002). Neutron spectroscopy-historical review and present status. Nucl. Instr. Meth. A 476, 1-11.
2. Bramblett, R.L., Ewing, R.I., Bonner, T.W., (1960). Neutron spectroscopy-historical review and present status. Nucl. Instr. and Methods 9, 1-12.
3. Awschalom, M., Sann, R. S. (1983). "Applications of Bonner Sphere detector in neutron field dosimetry" TM-1209, 1183.000, September.
4. Mares, V., Schraube, G. and Schraube, H., (1991). "Calculated neutron response of a Bonner sphere spectrometer with ^3He counter". Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A (307):398-412.
5. Muller, H., Fernandez, F., Van Ryckeghem, L., and others, (2002). "Monte Carlo calculations and experimental results of Bonner Sphere systems with a new cylindrical Helum-3 Proportional counter". Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A (476):411-415.
6. Briesmeister, J. F. (2000). MCNP- a general Monte Carlo N-particle transport code. Version 4C. Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M, Los Alamos.
7. International Standard ISO 8529 (2001). Reference neutron radiations–Part 1: Characteristic and methods of productions. International Standard ISO 8529-1
8. Nahili, M., (2013). "Calculation of the reaction rate and response matrix of a neutron spectroscopy consisting of a polyethylene sphere of variable diameter and BF_3 detector using the MCNP5-beta code" Journal of the fundamental sciences, Damascus University, Vol. 31 (1).
9. LND 2029. Cylindrical BF_3 Neutron detector. WWW. Indinc. Com/ neutron/ 2029. htm.
10. Bedogni, R., Gualdrini, G. and Moteventi, F. (2002). Field Parameters and dosimetric characteristics of fast neutron calibration facility: experimental and Monte Carlo evaluations. Nuclear Instruments and Method in Physics Research A (476), pp. 381-385.
11. 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 published for SISSA, September 3.