بسم الله الرحمن الرحيم

صفحة بياض

كلمة شكر

كلمة شكراً لا تفي أبداً ولكن هي أقل ما يمكن تقديمه لمن ساعدني في إنجاز هذا البحث وتطويره إلى الأفضل

فالشكر دوماً والحمد لله الحكيم الخبير العلي القدير الذي أكرمنا بالعلم وأخرجنا من الظلمات إلى النور.

ثم أوجه شكري إلى **د.رياض شويكاني** الذي احتضنني شخصياً بفضله وأعطاني من علمه الغزير زاده المولى من فضله والذي أقالني من كل عثرة وقعت فيها أثناء إعداد هذا البحث.

كما أشكر **د.ماجدة نحيلي** الذي مهما قلت فلن أوفيها حقها فقبل أن نحاول أن نأخذ منها تسبقنا لتعطينا من فيضها فقد بذلت كل وقتها وجهدها حتى نتعلم فلها مني كل الاحترام والتقدير.

كما أشكر جميع العاملين في المخبر العياري وأخص بالشكر الأستاذ **مازن نصار** والأخ المهندس **أنس غنوم** الذين بذلا من نفسهما ووقتهما لإنجاح هذا العمل.

وأشكر جميع العاملين في قسم الفيزياء ممثلين في **د.مصطفى صائم الدهر** و**د.حسيبة خير بك** وأخص بالشكر للمهندس **سلمان حسن** وللمهندس المعطاء **حسان الصالح** على كل ما قدماه من جهد و لم يكن ممكناً لولاهم إنجاز هذا العمل.

وأخيراً شكراً لكل من ساعدني بعمل أو كلمة.

إهداء

كلمات الحب حائرة أمام أخاديد الزمن
على أياد حنونة وقبالة عيون ساهرة وثغور باسمة
ساجدة عند قدميكما أمي...أبي.

وردات ثلاث هن حديقة حياتي...أخواتي

رفاق الدرب ولحظات العمر...أصدقائي

الطالب عمر طاهر البغدادي

المحتويات

المقدمة

اكتشف الإنسان ظاهرة الإشعاع منذ ما يزيد عن قرن من الزمن. كانت البدايات على يد العالم رونتجن 1895م. فقد أدت تجاربه إلى اكتشاف أشعة اكس، التي ما لبثت أن استثمرت وخصوصا في المجال الطبي. تلا ذلك اكتشاف النشاط الإشعاعي للعناصر الطبيعية على يد بكرل عام 1896م. توالت الاكتشافات لأنواع الإشعاع ومصادره، فقد عرفت عدة أنواع من الأشعة (ألفا، بيتا، غاما، والنترونات). كانت النترونات آخر الأشعة اكتشافا ويرجع السبب في ذلك إلى كون النترون عديم الشحنة الكهربائية كسبب رئيسي. مثل باقي أنواع الأشعة سرعان ما استثمرت النترونات في شتى المجالات الحياة. ونظراً لما للأشعة من أضرار على الكائنات الحية وخصوصا الإنسان، فقد نشأ علم الوقاية الإشعاعية ليلبي الحاجة إلى الوقاية من تلك الأضرار التي قد تصل إلى حد الوفاة. ترتكز الوقاية من الإشعاع على:

1) تقليل زمن التعرض للأشعة.

2) زيادة المسافة عن مصدر الأشعة.

3) تدريع مصدر الأشعة بالدرع المناسب.

تحتاج النترونات إلى اعتماد أساليب وقاية من الأضرار التي قد تحدثها. تعتبر تقنيات تدريع مصادر النترونات ذات اعتبارات خاصة، وذلك بسبب أن تفاعل النترونات مع المادة مرتبط بطاقة النترونات، وكذلك بما قد ينتج عن تلك التفاعلات من أنواع جديدة من الأشعة.

من المواد التي تستخدم لتدريع النترونات مادة البرافين حيث تعمل على تهدئة النترونات السريعة وذلك يعزى إلى كون هذه المادة غنية بالهيدروجين الذي يعتبر أكثر المواد كفاءة لتهدئة النترونات السريعة. أحد مصادر النترونات السريعة هو مصدر Am-Be الذي يستخدم بشكل واسع لأغراض المعايرة، والذي يمتلك طيفاً واسعاً يصل إلى 10.8 Mev.

حرصاً من هيئة الطاقة الذرية السورية على سلامة القائمين على تشغيل واستثمار هذا المصدر النتروني، قامت بتصميم حاوية لهذا الغرض. إلا أن هذه الحاوية قلت كفاءتها مع الوقت لعدة أسباب وبالتالي كان لابد من اقتراح شكل جديد لحاوية المصدر المشع بحيث تلبي متطلبات الوقاية من جهة ومن جهة أخرى تتلافى أخطاء الحاوية السابقة. ولإنجاز هذه الدراسة تم استخدام الكود MCNP-5C الذي يعتبر الرائد في مجال محاكاة انتقال الجسيمات (نترونات، الكترونات، وفوتونات) خلال المادة.

يتكون هذه البحث من خمسة فصول:

خصص الفصل الأول لذكر بعض الحقائق الفيزيائية المتعلقة بالنترونات.

أما الفصل الثاني فقد خصص لأشعة غاما وما يتعلق بها من تفاعلات مع المادة.

ويتناول الفصل الثالث المقترح الجديد لتصميم حاوية التشعيع النترونية من حيث الأبعاد والتركيب.

أما الفصل الرابع فيتناول خصائص هذه الحاوية.

وأخيراً يتناول الفصل الخامس الخاتمة، التي لخصت ما تم إنجازه في الدراسة، والتوصيات.

نورد هنا بعض الملاحظات لتسهيل قراءة هذه الأطروحة:

- تدل الأرقام والحروف الواردة بين القوسين [ ] على المرجع الذي استقيت منه المعلومات السابقة. الحرف A يشير إلى المراجع المكتوبة باللغة العربية. في حين يشير الحرف E إلى المراجع المكتوبة باللغة الإنكليزية.
- يقصد بكلمة المصدر المفرد مصدر النترونات Am-Be المستخدم.

الطالب: عمر البغدادي

الجزء النظري

المحتويات :

الفصل الأول : النترونات

الفصل الثاني : غاما

الفصل الأول
النترونات

1.1. مقدمة:

سيتناول هذا الفصل بعض الحقائق عن النترونات. ستعرض لمحة تاريخية عن اكتشاف النترون وتطور فهم العلماء له. يلي ذلك التعرف على المصادر المختلفة للنترونات. كما ستعرض الطرق المختلفة لتفاعل النترون مع المادة. وسيتم التعرف على كيفية كشف النترونات سواء السريع منها أو البطيء والحراري. سيختم هذا الفصل بالتعرف على كيفية تدريع النترونات.

2.1. اكتشاف النترون:

أجرى العالمان الألمانيان بوث وبيكر، في العام 1930، تجربة قذفت فيها نواة البيريليوم ^{9}Be بجسيمات ألفا ^{4}He، نتج عن ذلك أشعة غير مؤينة تأييناً مباشراً، تمتاز بنفاذيتها العالية جداً. اعتقد في أول الأمر أنها عبارة عن أشعة غاما، لاحظ بعد ذلك كل من كوري وجوليت أنه عند تسليط هذه الأشعة على مادة البرافين تنطلق بروتونات سريعة، حسبت الطاقة التي انطلقت بها هذه البروتونات فوجد أنها كانت تساوي 5.3 MeV وذلك باستخدام مدى هذه البروتونات المنطلقة. بفرض أن الجسيم الذي عمل على إطلاق البروتون هو غاما فلا بد أن تكون طاقته لا تقل عن 52 MeV مما جعل أن يكون ذلك الجسم الغريب شعاع غاما أمراً مستبعداً.

فسر العالم شادويك في العام 1932 هذا الإشعاع الغريب على أنه جسيم له كتلة تقترب من كتلة البروتون، مما يعني أنه لو اصطدم مع بروتون فمن الممكن أن تنتقل كل طاقته إلى البروتون، وهو ما يفسر ما لاحظه كل من كوري وجوليت. النترون لا يتأثر بالمجالات الكهربائية، مما يعني أنه متعادل كهربائياً، وهو ما يفسر تفاعله المباشر مع النواة.

تساوي كتلة النترون 1.6749×10^{-27} kg = 1.0087 a.m.u وهو ما يعادل 939.57 MeV وهي كتلة تقترب كثيراً من كتلة البروتون. أما نصف قطر النترون فإنه يساوي: R_n = 1.3fm علماً أن ($1m = 10^{-15}fm$).

ورغم أن النترون لا يحمل شحنة كهربائية ولا يتأثر بالمجالات الكهربائية، إلا أنه يتأثر بالمجالات المغناطيسية. كما أن التجارب دلت على أن النترون الحر لا يبقى طويلاً بل يتحول عبر تفككك بيتا إلى بروتون حسب المعادلة:

$$n \rightarrow p + \beta^{-} + \nu \dots \dots \dots (1.1)$$

يلعب النترون دوراً هاماً في دراسة القوى النووية، فبسبب كونه متعادل الشحنة باستطاعته اجتياز الحاجز الكولومي للنواة والتفاعل مع مكوناتها. حتى النترونات بطاقة من رتبة الإلكترون فولت تستطيع الوصول إلى داخل النواة وإحداث تفاعلات نووية. [E1]

3.1. تصنيف النترونات:

لتسهيل دراسة النترونات فقد صنفت حسب طاقتها، ومن تلك التصنيفات ما يلي: [A1]

الحرارية: $E = 0.025$ eV

البطيئة: 0.025 eV $< E \leq 0.5$ eV

فوق الحرارية: 0.5 eV $< E \leq 1$ keV

متوسطة الطاقة: 1 keV $< E \leq 0.5$ MeV

السريعة: 0.5 MeV $< E \leq 50$ MeV

4.1. مصادر النترونات:

يمكن الحصول على النترونات من مصادر مختلفة أهمها:

1.4.1 المفاعلات النووية:

يعتبر المفاعل النووي من أهم مصادر النترونات والتي تنتج عن عملية انشطار نوى ذرات العناصر الثقيلة القابلة للانشطار وهي نظائر اليورانيوم $^{233}U,\ ^{235}U$ ونظير البلوتونيوم ^{239}Pu. إذ ينطلق في كل تفاعلٍ انشطاري للنوى الثقيلة عدد من النترونات تثير بدورها انشطار نوى أخرى من مادة الانشطار، فتحدث زيادة مطردة لعمليات الانشطار والتي نسميها بالتفاعل المتسلسل.

تكون النوى الناتجة عن الانشطار مثارة، وتضمحل فيما يسمى بتسلسل اضمحلال الانشطار.

ويمكن استخدام النترونات المنبعثة عن عمليات الانشطار التي تتم في قلب المفاعل بعد تهدئتها لقذف أهداف من الخامات المختلفة تُوضع داخله بغرض إحداث التفاعل النووي (n,γ) ودراسة الطيف الغامي الفوري المنبعث نتيجة لذلك.

2.4.1. مصادر النترونات النظائرية:

تعتبر تفاعلات الجسيمات ألفا مع العناصر الخفيفة والتي أدت إلى اكتشاف النترون من مصادر النترونات الهامة لاستخدامها في المخابر. يُمزج النظير الباعث لألفا مع مادة هدف مناسبة مكوناً مصدراً

نترونياً مستقلاً ويمكن الحصول على أعلى إنتاجٍ نتروني باختيار البريليوم كهدف. يُخلط مصدر جسيم ألفا بتراكيز صغيرة فمثلاً عند خلط 1 غ من الراديوم مع عدة غرامات من مسحوق البريليـــوم ينبعـــث حوالي 10^7 نتروناً سريعاً نتيجة للتفاعل:

$${}_{2}^{4}He + {}_{4}^{9}Be \rightarrow {}_{6}^{12}C + n + 5.71\ MeV ....(2.1)$$

يعطي الجدول (1.1) بعض نماذج تفاعلات (α, n) حيث تستخدم مصدرات ألفا المألوفة. توضع مصادر النترونات النظائرية الناتجة عن تفاعل (α, n) في كبسولات داخل أسطوانات الفولاذ، ومعظم النترونات الناتجة عن هذه المصادر نترونات سريعة عالية الطاقة.

الجدول(1.1)

مصادر النترونات النظائرية (α, n)

المصدر النتروني	عمر النصف لمصدر ألفا	المصدر النتروني	عمر النصف لمصدر ألفا
$^{239}Pu/Be$	2400 Y	$^{210}Po/Be$	138 d
$^{244}Cm/Be$	18 Y	$^{241}Am/Be$	433 Y
$^{238}Pu/Be$	87.4 Y	$^{242}Cm/Be$	162 d
$^{226}Ra/Be$	1602 Y	$^{227}Ac/Be$	21.6 Y

بصفة عامة تعتبر مصادر النترونات النطائرية من النوع (α, n) ذات أهمية بالغة لجميع الأغـــراض العلمية حيثٍ أن أغلبها له عمر نصف طويل ويسهل نقلها، واستخدامها في التطبيقات الصناعية، إلا أن كثافة الفيض النتروني الناتج عنها يعتبر قليلاً نسبياً فيما لو قورن بالنترونات الناتجـــة عـــن المفـــاعلات النووية، وقد أثمر استخدام هذه المصادر في أبحاث عديدة في مجال البحث عن نسب تركيز العناصـــر في خاماتها.

3.4.1. المصادر النترونية الغامية (الفوتونترونية):

يمكن استخدام بعض مصدرات أشعة غاما النظائرية النشطة لإنتاج النترونات بقذف مادة هـــدف مناسب بهذه الأشعة.

وتنتج هذه المصادر نترونات نتيجة مخزون طاقة إثارة كافية لنوى الهدف عند امتصاص فوتونـــات أشعة غاما، فإذا كانت طاقة ارتباط النترون الأخير في نوى الــ ^{9}Be مثلاً هي 1.67MeV فإنه يمكن تحرير نترونات من الــ ^{9}Be بقذفه بأشعة غاما ذات طاقة 1.67 MeV أو أكثر.

ويتوفر عدد كبير من النوى المنشطة إشعاعياً، والتي تعطي أشعة غاما ولعل من أكثرها شيوعاً:

$^{24}Na,\ ^{28}Al,\ ^{38}Cl,\ ^{56}Mn,\ ^{72}Ga,\ ^{76}As,\ ^{88}Y,\ ^{116}In,\ ^{124}Sb,\ ^{140}La,\ ^{144}\mathrm{Pr},\ ^{226}Ra$

تعتبر نواتا (^{2}H) و (^{9}Be) من أهم المصادر الفوتونترونية النظائرية النشيطة وتفاعلاتها كالتالي:

$$h\nu + {}_{4}^{9}Be \rightarrow {}_{4}^{8}Be + n.........(3.1)$$
$$h\nu + {}_{1}^{2}H \rightarrow {}_{1}^{1}H + n.........(4.1)$$

إن معظم مصادر (γ, n) تحوي خليطاً من أحجامٍ متساويةٍ من الأنتيموان والبريليوم بحيث تتفاعل أشعة غاما المنطلقة من الأنتيموان مع نوى البريليوم، مؤدية إلى إطلاق نترونات أحادية الطاقة.

من العيوب الرئيسية للمصادر الفوتونترونية أن نشاط أشعة غاما كبير جداً بحيث تستخدم في نظام لإنتاج مصادر نترونية ذات شدة عالية وعمر النصف لمصدرات غاما قصيرة بحيث تتطلب إعادة تنشيطها باستمرار.

4.4.1. المصادر النترونية الناتجة عن الانشطار التلقائي:

مصادر الكاليفورينوم ^{252}Cf ذي عمر نصف قدره (2.65 عام) يمتاز بقلة تكلفته وكثافة النترونات الصادرة عنه تلقائياً، وهو يبعث بمقدار $2.3*10^{6}$ نترون في الثانية ولكل ميكروغرام من العينة. ويكون متوسط طاقة النترونات الناتجة عن هذا الانشطار هي 2.3 MeV ويعتبر مصدر ^{252}Cf من المصادر النترونية المناسبة في التطبيقات العلمية والصناعية.

5.4.1. النترونات الناتجة عن استخدام الجسيمات المسرعة:

يمكننا الحصول على النترونات بقذف أهدافٍ معينة بالجسيمات المشحونة المعجلة، كقذف الماء الثقيل (D_2O) مثلاً أو الديوتيريوم بالديوترونات المعجلةً في مسرع منخفض الطاقة ويمثل ذلك بالتفاعل:

$$^{2}H(d,n)^{3}He.........(5.1)$$

ترافق هذا التفاعل طاقة قيمتها Q=3.26 MeV فهو يعطي حصيلة جيدة من النترونات بطاقاتٍ منخفضة لديوترونات في حدود (100-200 keV) ويمكن أن نحصل على نترونات أحادية الطاقة لو تحكمنا في شروط التجربة بعناية وهناك تفاعلات أخرى يمكن استخدامها لهذا الغرض، تمثل المعادلات التالية أهم هذه التفاعلات:

$${}_{1}^{2}H + {}_{1}^{3}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}^{1}n + 17.6\ MeV.........(6.1)$$
$${}_{6}^{12}C + {}_{1}^{2}H \rightarrow {}_{7}^{13}N + {}^{1}n + 0.26\ MeV.........(7.1)$$
$${}_{3}^{7}Li + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{4}^{7}Be + {}^{1}n + 1.65\ MeV.........(8.1)$$
$${}_{1}^{3}H + {}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{3}He + {}^{1}n + 0.762\ MeV.........(9.1)$$

إضافة إلى جميع المصادر السابقة يمكن القول إن الأشعة الكونية تعتبر المصدر الطبيعي الوحيد للنترونات حيث تنتج نترونات ذات طاقة مشابهة لطاقة النترونات الناتجة بالمسرعات ولكن يتعذر استخدامها في الدراسات التطبيقية.

5.1. تفاعلات النترونات مع المادة:

تشابه النترونات أشعة غاما من حيث أنها عديمة الشحنة الكهربائية، ولذلك فمن الممكن أن تنتقل خلال المادة لسنتمترات دون حدوث أي نوع من التفاعلات. تفاعلات النترون مع المادة تعتمد على عدة متغيرات منها:

1- النواة الهدف.

2- طاقة النترون.

3- المقطع العرضي للتفاعل والذي يتغير بتغير النواة الهدف وطاقة النترون.

هناك عدة أنواع من التفاعلات التي قد تحدث بين كل من النترون الوارد والمادة التي يعبر خلالها:

1- التبعثر المرن.

2- التبعثر غير المرن.

3- أسر أو امتصاص النترون.

وكنتيجة لتفاعل النترون مع الوسط فإننا سنلاحظ:

1- النترون يختفي ويظهر عوضاً عنه أحد أنواع الإشعاع الأخرى (فوتون، جسيم مشحون ثقيل، عدد من النترونات، نواتج انشطار).

2- طاقة واتجاه النترون تتغير (كما يحدث في التبعثر المرن).

تشابه النترونات بقية الأنواع الأخرى من الإشعاع من حيث أنها تفقد طاقتها داخل المادة بالتدريج إلى أن تصبح حرارية، إلا أنها قد تبقى فترة من الزمن حرة قبل أن يتم أسرها من قبل إحدى نوى الوسط، أو تنحل حسب المعادلة (1.1).

1.5.1. التبعثر المرن Elastic Scattering:

هذا التفاعل بين النترون والنواة هو التفاعل المسيطر في حال كان الوسط المار خلاله النترون يحوي نسبة عالية من النوى الخفيفة. الطاقة العظمى Q_{max} التي سيعطيها النترون الوارد ذو الطاقة E_0 والكتلة $m=1$ إلى نواة كتلتها $M=A$، بعد تفاعلهما، ستكون:

$$Q_{max} = \frac{4mME_0}{(m+M)^2} = \frac{4ME_0}{(1+M)^2} = \frac{4AE_0}{(1+A)^2} \dots\dots\dots (10.1)$$

ستظهر الطاقة التي سيخسرها النترون في شكل عملية ارتداد للنواة.

يلعب التبعثر المرن الدور الأساسي في عملية تهدئة النترونات. عند الحاجة إلى تهدئة النترونات يتم تمريرها خلال مادة تكون نسبة الهيدروجين فيها عالية، لأن الهيدروجين يعتبر المهدئ الأفضل وذلك بسبب امتلاكه نواة تمتاز بأقل عدد كتلي $A=1$. كما أن التبعثر المرن له دور هام في عملية كشف النترونات وخاصة السريعة منها (تفاعلات الارتداد).

2.5.1. التبعثر غير المرن Inelastic Scattering:

التبعثر غير المرن هو تفاعل بين النترون والنواة يؤدي إلى إثارة النواة (مع عدم امتصاص النترون). لا يحدث هذا النوع من التفاعلات إلا إذا كانت طاقة النترون الوارد أكبر أو تساوي طاقة إثارة النـــواة. تعود النواة المثارة إلى حالتها الدنيا بإطلاق إشعاع غاما، من الأمثلة على التبعثر غير المرن التفاعل التالي:

$$^{56}Fe + n \rightarrow {}^{56}Fe^{*} + n \rightarrow {}^{56}Fe + \quad \dots\dots\dots (11.1)$$

3.5.1. التفاعلات من النوع (n, 2n)، (n, a)، (n, p)، ...

عند مرور حزمة من النترونات خلال المادة ستقل شدة هذه الحزمـــة تـــدريجياً، وذلـــك بـــسبب التفاعلات المختلفة التي تحدث بين النترونات ونوى المادة، فالنترونات السريعة تفاعلات من قبيـــل (n, 2n)، (n, a)، (n, p)، ...، والتي غالباً ما تحتاج إلى طاقة خارجية للحدوث (ماصة للطاقة). بعـــض التفاعلات المنتجة للطاقة:

$$^{3}He + n \rightarrow {}^{3}H + p + Q : Q = 0.75\ MeV ....(12.1)$$

$$^{6}Li + n \rightarrow {}^{3}H + a + Q : Q = 4.785\ MeV ....(13.1)$$

4.5.1. الأسر الإشعاعي Radiative Capture:

عند وصول طاقة النترون إلى المدى الحراري أو البطيء تصبح احتمالية أن تقوم إحدى نوى الوسط بامتصاصه كبيرة. يطلق على هذا النوع من التفاعلات الأسر الإشعاعي.

يزداد العدد الكتلي للنواة التي قامت بأسر النترون بمقدار واحد، وستنتقل إلى الحالة المثارة. تطلـــق هذه النواة أشعة غاما للعودة إلى الحالة المستقرة.

تمثل المعادلة أسر نواة الهيدروجين للنيوترون، مما ينتج عنه نظير التريتيوم 2H. تكون نواة التريتيـــوم الناتجة في حالة إثارة، ولكي تستقر فإنها تطلق شعاع غاما بطاقة 2.22 MeV للاستقرار.

$$^{1}H + n \rightarrow {}^{2}H + \gamma : \gamma = 2.22\ MeV ....(14.1)$$

5.5.1. الانشطار fission :

في هذا التفاعل تنقسم النواة الثقيلة بعد امتصاصها النترون إلى نـــواتين (بـــشكلٍ عـــام) وينـــتج $\bar{\nu} \cong 2.5$ نتروناً سريعاً في هذا التفاعل. إن النوى القابلة للانشطار بواسطة نترونات حراريـــة هـــي:

$$^{233}_{92}U, \quad ^{235}_{92}U, \quad ^{239}_{94}Pu, \quad ^{241}_{95}Am$$

يستخدم حالياً في الوقود النووي النوى الثلاثة الأولى.

الطاقة الناتجة بتفاعل الانشطار تعادل حوالي 200 MeV ، 75% منها تكون على شكل طاقـــة حركية لنواتج الانشطار.

يمكن حصول الانشطار بواسطة نوى أخرى إلا أن هذه التفاعلات لا تتم إلا إذا كانـــت طاقـــة القذيفة أعلى من حد معين: نعطي بعض الأمثلة لقيم هذه العتبة.

$$^{209}_{83}Bi : 60MeV, \quad ^{232}_{90}Th : 1.3MeV$$
$$^{238}_{92}U : 0.9MeV, \quad ^{242}_{95}Am : 6.4MeV$$

6.5.1. التنشيط النتروني Neutron activation :

في معظم التفاعلات وخاصة في تفاعلات الأسر الاشعاعي (n,γ)، يتنشط الهدف وتصبح النواة الهدف مشعة يمكن حساب نشاطها الاشعاعي بسهولة.

بفرض أن سماكة الهدف dx صغير وواحدة سطحه المعرضة لتدفق النترونات تـــساوي واحـــدة السطح وتحتوي على N ذرة في واحدة الحجم. بفرض σ المقطع العرضي للتفاعل الذي نحصل فيه على النظير المشع للهدف والمعرف بـــ (λ, T) حيث λ هي ثابت التفكك الإشعاعي للـــنظير المـــشع وT عمر النصف. نسمي Φ عدد النترونات الواردة على الهدف بواحدة الزمن.

إن تشعيع N ذرة هدف في التدفق النتروني Φ خلال الزمن Δt ينتج n نـــواة مـــشعة تعطـــى بالعلاقة:

$$n = N.\sigma.\Phi.\Delta t ....(15.1)$$

وبالمقابل تتفكك هذه النوى المشعة بثابت التفكك λ فيمكننا كتابة عبارة تغير عدد النوى المشعة مع الزمن على الشكل التالي:

$$\frac{dn}{dt} = N.\sigma.\Phi - \lambda n ....(16.1)$$

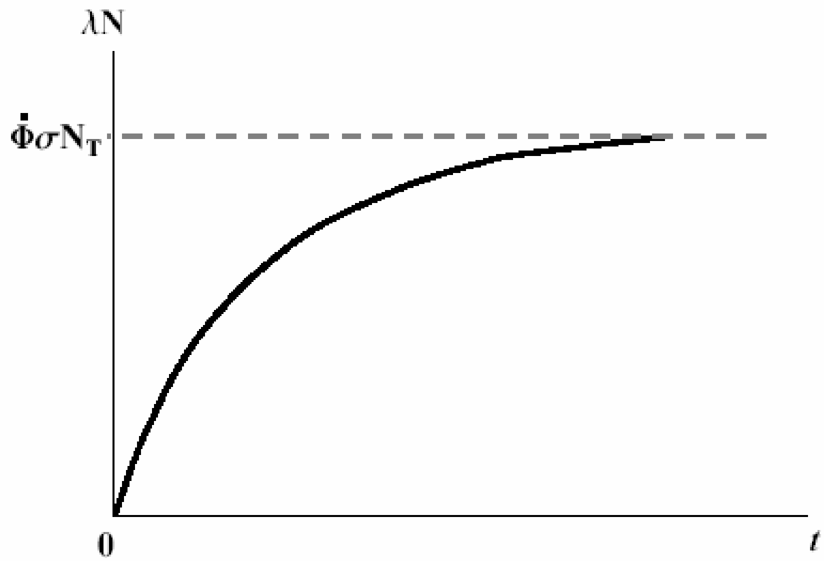
وبمكاملة هذه العلاقة نحصل على:

$$n = \frac{\sigma.\Phi.N}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) ....(17.1)$$

يحسب نشاط الهدف بعد تشعيعه بالعلاقة:

$$A = \lambda.n = \sigma.\Phi.N(1 - e^{-\lambda.t}) ....(18.1)$$ ويقاس بالبكرل.

من العلاقة السابقة نجد أن A تنتهي إلى قيمة حدية $A_S = \sigma.\Phi.N$ عند هذه القيمة يصبح عدد النوى المولدة خلال واحدة الزمن يعادل عدد النوى المتفككة في واحدة الـــزمن. يـــبين الـــشكل (1) $A(t)$. من أجل $t = T$ تكون $(\frac{A}{A_S} = 0.5)$. ونلاحظ أنه لا فائدة من زيادة زمن التشعيع أكثـــر من 4 أو 5 مرات عمر النصف حيث أن A تصبح قريبة جداً من A_S .



الشكل1: النشاط الإشعاعي $A(t)$.

6.1. كواشف النترونات:

يعتمد كشف الإشعاع بشكل عام على تفاعل هذا الإشعاع مع مادة الكاشف. يكون تفاعل الجسيمات المشحونة مباشراً مع مادة الكاشف على شكل إثارة أو تأيين، أما كشف أشعة غاما فيتم عن طريق الإلكترونات الثانوية التي تحررها هذه الأشعة عند تفاعلها مع مادة الكاشف.

ويتم كشف النترونات من خلال عدة طرق، تكشف من خلال كشف الجسيمات المشحونة (p, a, d, ...) أو أشعة غاما الناتجة عن التفاعلات النووية التي تنتج عن تفاعل النترون مع مادة الكاشف.

عند تصميم كواشف النترونات يجب الأخذ بالحسبان اعتماد المقطع العرضي للتفاعلات النووية على الطاقة، لذلك تختار مادة وسط الكشف بعناية، فكلما كان المقطع العرضي أكبر كلما قل الحجم الفعال للكاشف.

بعض أنواع كواشف النترونات:

1.6.1. الكواشف الغازية:

يملأ الكاشف الغازي تحت ضغط معين لغرض كشف النترونات بإحدى الغازات التي يمكن أن يحدث فيها أي من التفاعلات المذكورة السابقة. فعند دخول النترون إلى الحيز الداخلي للكاشف يحدث التفاعل بينه وبين ذرات الغاز، فينطلق نتيجة لذلك جسيمات مشحونة ثقيلة التي تقوم بتأين غاز الكاشف. وبجمع الشحنات الكهربائية المتكونة عن التأين تتكون نبضة كهربائية تعبر عن تسجيل النترون.

يستخدم الأنبوب التناسبي الحاوي على غاز ثلاثـــي فلوريـــد البـــورون BF_3 بـــشكل واســـع للكشف عن النترونات الحرارية. ويعود ذلك إلى كبر المقطع العرضـــي لامتـــصاص نظـــير البـــورون ^{10}B للنترونات الحرارية، ويكون البورون في الكاشف BF_3 هـــو المـــادة الهـــدف الـــتي تمـــتص النترونـــات الحرارية، وينتج عن ذلك جسيمات مشحونة ثانوية يمكن بواسطتها الكشف عن النترونات.

2.6.1 الكواشف الوامضة (Scintillation Detectors)

يستعمل في هذه الكواشف التفاعلات المستعملة في الكواشف الغازيـــة نفـــسها وهـــي تفاعـــل أسر النترونات الحرارية والتشتت المرن للنترونات السريعة.

من أجل النترونات الحرارية والبطيئة تستعمل عادة مـــادة وامـــضة غنيـــة بـــذرات الليثيـــوم-6 مثل بلورة يوديد الليثيوم المنشط بالتاليوم (LiI(Tl)). حيث تستعمل هـــذه البلـــورة عوضـــا عـــن بلورة يوديد الصوديوم (NaI) المستعملة من أجل كشف أشـــعة غامـــا. فعنـــد أســـر ذرة الليثيـــوم -6 للنيترون الساقط ينطلق جسيما ألفا والتريتيوم في مـــادة البلـــورة ممـــا يـــؤدي إلى إثـــارة ذرات البلورة وانطلاق الومضة الضوئية الـــتي تحـــول إلى نبـــضة كهربائيـــة بواســـطة أنبـــوب المـــضاعف الضوئي (Photomultiplier Tube). كما يمكن اســـتعمال أيـــضا في مثـــل هـــذا النـــوع مـــن الكواشف بلورة من كبريتات التوتياء (ZnS) مخلوطة مع مادة البور-10.

فيمكن من أجل النترونات السريعة تغليف الكاشف السابق بطبقة من الـــبرافين مـــن أجـــل تهدئـــة هذه النترونات وكشفها كنترونات حرارية إلا أنه يمكـــن اســـتعمال مبـــدأ التـــشتت المـــرن للنترونـــات على ذرات الهيدروجين وذلك بصنع بلورة وماضة تحوي عدداً كـــبيراً مـــن ذرات الهيـــدروجين. مثـــال ذلك البلورة المصنوعة من خلط الشمع مع كبريتات التوتياء كمـــادة وامـــضة. أو يمكـــن وضـــع طبقـــة رقيقة من البولي إثيلين على سطح بلورة كبريتات النحاس بحيـــث تنطلـــق البروتونـــات المرتـــدة الناتجـــة عن سقوط النترونات السريعة على طبقة البولي إثيلين نحو البلورة محدثة النبضة الضوئية المطلوبة.

3.6.1 الكواشف الانشطارية للنترونات (neutron Fission Detectors)

تعتمد هذه الكواشف على كشف التأين الـــذي تحدثـــه نـــواتج انـــشطار مـــادة مـــا نتيجـــة تعرضها لتدفق من النترونات. فيستعمل اليورانيوم-235 مـــن أجـــل النترونـــات الحراريـــة لكـــبر مقطعه انشطاره العرضي بالنترونات الحرارية. بينما من أجل النترونـــات الـــسريعة فتـــستعمل مـــواد قابلة للانشطار كـــاليورانيوم-238 والثوريـــوم-232 الـــتي تنـــشطر فقـــط إذا تجـــاوزت طاقـــة النترونات الساقطة عتبة معينة لكل مادة. و تجـــدر الإشـــارة إلى أن كفـــاءة كواشـــف النترونـــات الحرارية أعلى بكثير من كفاءة كواشـــف النترونـــات الـــسريعة وذلـــك لكـــبر مقطـــع الانـــشطار العرضي لليورانيوم-235 مقارنة مما هو لليورانيوم-238.

4.6.1 كشف النترونات بالتنشيط الإشعاعي (Neutron Activation)

يمكن الكشف عن النترونات الحرارية أو السريعة بتعـريض رقـائق مـن نظـائر مختلفـة، تتميـز بمقطع عرضي كبير للأسر النتروني. فتتكون نظـائر نـشيطة إشـعاعيا تتـراوح أعمـار نـصفها بـين الدقائق والساعات. وتستعمل القيمة المقاسة للنـشاط الإشـعاعي المتولـد في العينـة لحـساب التـدفق النتروني بعد معرفة سمك الرقاقة وقيمة المقطع العرضي للأسـر النتـروني للـنظير المـستعمل. و الجـدير بالذكر أن النشاط الإشعاعي المستحث بسبب التشعيع يكون عـادة مـصدر لأشـعة غامـا أو بيتـا، و بالتالي لا يلزم كواشف نيترونات في مثل هذه التقانة. كما وينبغي أن يكـون سمـك الرقاقـات صـغيرا بحيث يبقى التدفق النتروني ثابتا عبر الرقاقة و لا يحدث امتـصاص ذاتي لجـسيمات بيتـا الناتجـة. يـبين الجدول(2.1) بعض النظائر المستعملة للكشف عن النترونات الحرارية و السريعة.

نوع الكشف	مادة الرقاقة	النظير المستقر	نسبته في الرقاقة (%)	المقطع العرضي (بارن)	النظير المشع المتكون	العمر النصفي للنظير المشع
النترونات السريعة	نيكل	نيكل-58	67.76	0.42	كوبالت-58	71.3 يوم
	ألمنيوم	ألمنيوم-27	100.0	0.13	صوديوم-24	15 ساعة
	حديد	حديد-56	91.68	0.11	مغنزيوم-56	2.6ساعة
	ثوريوم	ثوريوم-232	100.0	0.06	مولبدينيوم-99	66 ساعة
النترونات الحرارية	كوبالت	كوبالت-60	100.0	16.9 20.2	كوبالت-60م كوبالت-60	10.4 د 5.27 سنة
	فضة	فضة-107 فضة-109 فضة-109	51.35 48.65 48.65	45.0 110.0 110.0	فضة-108 فضة-110 فضة-110م	2.3 د 25 ثانية 253 يوم
	ذهب	ذهب-197	1100.0	98.5	ذهب-198	2.69 د

الجدول(2.1)

بعض النظائر المستعملة للكشف عن النترونات السريعة و الحرارية بالتشعيع

5.6.1 كواشف النترونات بالمستحلبات التصويرية

تستعمل المستحلبات التصويرية عادة في الكشف عـن النترونـات وخاصـة في مجـال تقـدير الجرعة الشخصية للعاملين في مجالات إشعاعية يحتمل فيها التعـرض للنترونـات مثـل المفـاعلات.

للنترونات البطيئة تستعمل أفلام المراقبة الفردية حيث تجعل أحد النوافذ في حاملات الأفلام حاوية على طبقة من الكادميوم تليها طبقة رقيقة من الرصاص. فعند سقوط النترونات البطيئة على هذه النافذة تمتص النترونات بالكادميوم وفق التفاعل $^{114}Cd(n,\ )^{115}Cd$. تتفاعل أشعة غاما الصادرة عن التفاعل مع طبقة الرصاص مولدة إلكترونات يصار إلى كشفها بواسطة مستحلب التصوير (الفلم). أما من أجل النترونات السريعة فيتم استعمال المستحلبات النووية حيث تتفاعل النترونات السريعة مباشرة مع مادة الكاشف مسببة ارتداد بروتونا التي بدورها تسجل أثراً على الكاشف.

6.6.1. كشف النترونات بكواشف الأثر النووي

كما يمكن الكشف عن النترونات باستعمال الكواشف البلاستيكية الوارد ذكرها في هذه المحاضرة حيث يطلى سطح الكاشف البلاستيكي بمادة مثل البور أو الليثيوم التي تتفاعل مع النترونات الحرارية مصدرة جسيمات مشحونة قادرة على أن تسجل أثراً على الكاشف. كما يمكن للنترونات السريعة أن تتفاعل مع بعض الكواشف البلاستيكية مباشرة مثل كواشف CR-39 فيصدر عن ذلك بروتونات مرتدة قادرة على أن تسجل أثراً على هذه الكواشف.

7.1. تدريع النترونات:

يبسط تصميم تدريع الفوتونات بعدد من المعاملات التي لا يمكن تطبيقها في حالة النترونات. تتغير المقاطع العرضية للفوتونات بشكل منتظم مع العدد الذري والطاقة، أما المقاطع العرضية للنترونات فإنها تتغير بشكل غير منتظم من عنصر إلى آخر وبتغير الطاقة.

بشكل عام يعمل تدريع النترونات على تهدئة النترونات السريعة إلى حرارية ومن ثم يعمل على امتصاصها. تعتبر العناصر الخفيفة أفضل العناصر على تهدئة النترونات، وعلى وجه الخصوص الهيدروجين. تعمل العديد من المواد الهيدروجينية كدرع جيد للنترونات، مثل الماء والبرافين.

يمكن أيضاً للهيدروجين أسر النترونات الحرارية ولكن بمقطع عرضي صغير 0.33 barns يتمتع الكادميوم بمقطع عرضي كبير لأسر النترونات الحرارية 2450 barns مما جعله يستخدم وبشكل واسع لتدريع النترونات الحرارية. يُصاحب استخدام الهيدروجين والكادميوم لأسر النترونات الحرارية إطلاق أشعة غاما بطاقات عالية والتي بدورها تحتاج إلى تدريع، 2.22 MeV و9.05 MeV على التتالي.

توجد نظائر (مثل نظير البورون ^{10}B و نظير اللثيثيوم ^{6}Li) لها القدرة على أسر النترونات الحرارية خلال التفاعلات(n,α). الجسيم الناتج من التفاعل α لا يملك القدرة على النفاذية كما هو الحال مع أشعة غاما، مما سيغني عن تدريع إضافي لنواتج التفاعل.

***

صفحة بياض

الفصل الثاني

أشعة غاما

1.2. مقدمة:

يتناول هذا الفصل تعريف بأشعة غاما النووية وأسباب ظهورها. نناقش الطرق المختلفة لتفاعل أشعة غاما مع المادة، المفعول الكهرضوئي، مفعول كومبتون، وتوليد الأزواج. نتناول طريقة كشف أشعة غاما. نختم الفصل بعرض تدريع أشعة غاما.

2.2. أشعة غاما:

تنطلق أشعة غاما النووية من النوى المثارة، التي تظهر نتيجة التفاعلات النووية أو التفكك الإشعاعي. تتميز أشعة غاما النووية بطيفها المنفصل، فالنواة المثارة يمكنها إطلاق فوتون أو أكثر. أشعة غاما هي عبارة عن فوتونات مثلها في ذلك مثل الأشعة الكهرومغناطيسية الأخرى (الضوء المرئي، أشعة إكس، ... الخ). تمتاز بأطوالها الموجية المتناهية في الصغر، فأطوالها الموجية أصغر بمليون مرة من الأطوال الموجية المرئية.

معظم تفككات ألفا، بيتا، وكذلك أغلب التفاعلات النووية تترك النواة الناتجة في حالة مثارة. تنتقل هذه النواة إلى الحالة الدنيا مباشرة أو بالتدريج عبر إطلاق فوتونات تحمل فرق الطاقة بين المستوى الأعلى (المتواجدة فيه النواة المثارة) والمستوى الأدنى (تكون فيه النواة أقل إثارة أو في حالتها الدنيا).

يتفكك الراديوم ^{226}Ra عبر انحلال ألفا متحولاً إلى الرادون $^{222}\mathrm{R}n$ وذلك عبر مسارين، أحد هذين المسارين تكون فيه نواة الرادون مثارة، $\alpha = 4.602\,\mathrm{MeV}$ مما يجبرها على إطلاق فوتون (شعاع غاما) لتصل إلى الحالة الدنيا.

3.2. تفاعلات أشعة غاما مع المادة:

تتفاعل أشعة غاما مع المادة بثلاث طرق، المفعول الكهرضوئي، تبعثر كومبتون، وتوليد الأزواج. ومن المعلوم أن الفوتونات ليس لها القدرة على تأيين المادة مباشرة، وذلك لكونها متعادلة الشحنة الكهربائية. تتصادم أشعة غاما مع الكترونات المادة لتعطيها كل طاقتها (المفعول الكهرضوئي)، أو جزء

منها (تبعثر كومبتون). وقد تتفاعل أشعة غاما مع المجال الكهرومغناطيسي للنواة فيتولد زوج الكترون – بوزيترون (توليد الأزواج).

1.3.2. المفعول الكهرضوئي:

المفعول الكهرضوئي هو عبارة عن تصادم مباشر بين فوتون (شعاع غاما) وأحد الكترونات الذرة منتقلة طاقة الفوتون بأكملها إلى الالكترون الذي يتحرر تاركاً الذرة. يسمى الالكترون المتحرر بالإلكترون الضوئي. يعبر عن طاقة الالكترون المنطلق بالعلاقة:

$$T_e = h\nu - B.........(1.2)$$

حيث T_e طاقة الالكترون المنطلق، $h\nu$ طاقة الفوتون الوارد، B طاقة ارتباط الالكترون بالذرة.

لا يحدث المفعول الكهروضوئي إلا إذا كانت طاقة الفوتون $h\nu$ أكبر من طاقة ارتباط الالكترون بذرته B . وكذلك لا يحدث المفعول الكهروضوئي مع الالكترونات الحرة نظراً لعدم تحقق حفظ لاندفاع. في حال الالكترونات المرتبطة يتحقق حفظ الاندفاع فالذرة تحمل الجزء المتبقي من الاندفاع.

توجد علاقات تجريبية لوصف المقطع العرضي لتفاعل الكهرضوئي:

$$\varepsilon = 1 \quad \Rightarrow \sigma_{ph} = \frac{32\pi}{3}\sqrt{2}Z^5\alpha^4\frac{r_e^2}{\varepsilon^{7/2}}.........(2.2)$$

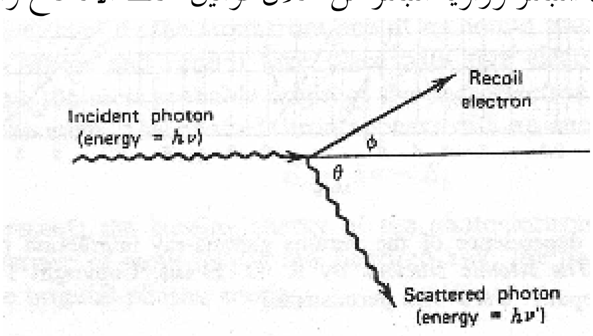
$$\varepsilon \rangle 1 \quad \Rightarrow \sigma_{ph} = 4\pi\, r_e^2 Z^5\alpha^4\frac{1}{\varepsilon}.........(3.2)$$

حيث: $\varepsilon = \dfrac{h\nu}{m_e C^2}$ ، $\alpha = \dfrac{e^2}{4\pi\,\varepsilon_0 \hbar\, C} = \dfrac{1}{137}, r_e = \dfrac{e^2}{m_e C^2}$

يلاحظ أن المقطع العرضي للأثر الكهرضوئي يتناسب طرداً مع Z^5 للمادة الممتصة. لذلك تفضل العناصر ذات العدد الذري الكبير بالرصاص لصنع الدروع والحواجز الواقية من أشعة غاما.

2.3.2. تبعثر كومبتون:

يتم في تبعثر كومبتون التفاعل بين فوتون والكترون حر أو ضعيف الارتباط بالذرة. يتغير تردد الفوتون الوارد بعد هذه العملية وكذلك اتجاه الحركة، ويسمى بالفوتون المتبعثر. يمكننا اشتقاق العلاقة التي تربط بين الطاقة التي يخسرها الفوتون المتبعثر وزاوية التبعثر من خلال قوانين حفظ الاندفاع والطاقة، انظر الشكل:



الشكل(1.2). تبعثر كومبتون

هذه العلاقة تأخذ الشكل:

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1+\alpha(1-\cos\theta)}.........(4.2)$$

إذا كان لدينا حزمة من أشعة غاما وحيدة الطاقة وأردنا كشفها فسنجد بالإضافة إلى القمة الأساسية (الناتجة عن الامتصاص الكلي للطاقة) طيفاً مستمراً يمتد نظرياً من الصفر إلى قسيمة عظمى تعرف بحافة كومبتون.

يعطى المقطع العرضي التفاضلي لتبعثر كومبتون بالعلاقة:

$$\frac{d_c\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2}\left(\frac{\nu'}{\nu}\right)^2\left(\frac{\nu}{\nu'}+\frac{\nu'}{\nu}-\sin^2\theta\right) \quad cm^2 / electron * steradian.........(5.2)$$

r_e هو نصف القطر الكلاسيكي للإلكترون: $r_e = \frac{e^2}{m_e C^2}$

3.3.2. توليد الأزواج:

عند دخول فوتون طاقته على الأقل ضعفي الطاقة السكونية للإلكترون $h\nu \geq 2m_e C^2$ فمن الممكن أن يتفاعل هذا الفوتون مع حقل النواة متحولاً إلى زوج الكترون – بوزيترون.

تتحول طاقة الفوتون hv إلى كتلة $2m_e C^2$ وطاقة حركية يحملها الزوج:

$$h\nu = 2m_e C^2 + T_{e^-} + T_{e^+} + T(nuc).........(6.2)$$

حيث أن: T_n هي طاقة ارتداد النواة. $T_{e^-} + T_{e^+} + T(n).........(7.2)$

تزداد احتمالية حدوث توليد الأزواج بزيادة طاقة الفوتون، وتتناسب طرداً مع مربع العدد الذري لوسط التفاعل Z^2.

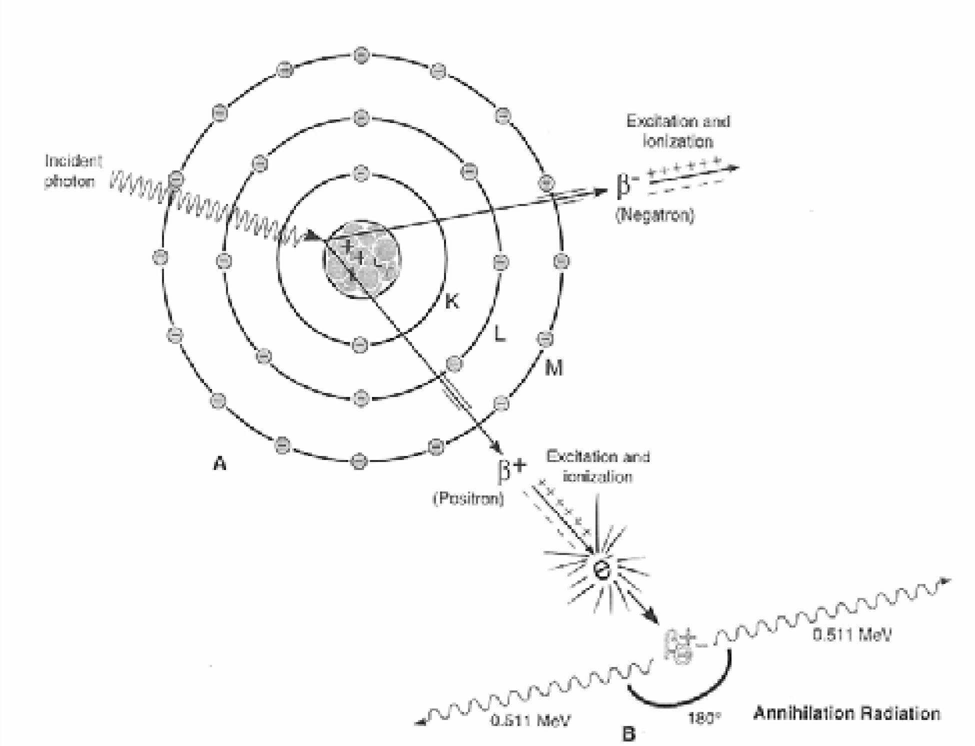
يلي توليد الأزواج حدوث عملية عكسية وهي ما تسمى بفناء البزيترون. بعد أن يفقد البزيترون معظم طاقته يتحد مع الكترون ليتلاشيا فيظهر بدلاً عنهما فوتونين طاقة كل منهما $m_e C^2 = 0.511 MeV$.

يمكن حساب المقطع العرضي لتوليد الأزواج في حقل نواةٍ من مادةٍ عددها الذري Z باستخدام العلاقات التقريبية التالية:

نذكر: $\varepsilon = \frac{h\nu}{m_e C^2}, \alpha = \frac{e^2}{4\pi\,\varepsilon_0 \hbar\, C} = \frac{1}{137}, r_e = \frac{e^2}{m_e C^2}$

$$1 \langle \varepsilon \langle \frac{137}{Z^{1/3}} \Rightarrow \sigma_p = r_e^2 \times 4\alpha\, Z^2\left[\frac{7}{9} Ln\, 2\varepsilon - \frac{109}{54}\right] \quad cm^2 / nuc.........(8.2)$$

$$\varepsilon \rangle \frac{137}{Z^{1/3}} \Rightarrow \sigma_p = r_e^2 \times 4\alpha\ Z^2\left[\frac{7}{9}Ln\left(\frac{183}{Z^{1/3}}\right)-\frac{1}{54}\right]\quad cm^2/nuc.........(9.2)$$



الشكل(2.2). عملية توليد الأزواج، وفناء البوزيترون

4.2. مقارنة التفاعلات الثلاث:

تتنافس التفاعلات الثلاث فيما بينها إلا أنه يوجد مجالات من الطاقة يكون فيها أحد التفاعلات غالباً على التفاعلين الآخرين. إن المفعول الكهرضوئي هو الأكثر احتمالاً في مجال الطاقات المنخفضة $E<100$ keV ومن أجل المواد ذات الكثافة العالية. أما تفاعل توليد الأزواج فيزيد احتماله في مجال الطاقات العالية $E>20$ MeV، ويكون احتمال تفاعل كومبتون كبيراً في مجال الطاقات المتوسطة، انظر الشكل(3.2). يوضح الشكل (4.2) أثر العدد الذري للمادة وطاقة الفوتون على مناطق سيادة الأنماط الثلاث لتفاعلات غاما مع المادة.

يعرف المقطع العرضي الكلي لتفاعل أشعة غاما مع المادة كحاصل جمع للمقاطع العرضية للتفاعلات الثلاثة:

$$\sigma_T = +\sigma_{ph} + \sigma_c + \sigma_{pp}.........(10.2)$$

حيث: σ_{ph}المقطع العرضي للتفاعل الكهروضوئي، σ_c المقطع العرضي لتفاعل كومبتون، σ_{pp} المقطع العرضي لتفاعل إنتاج الأزواج.

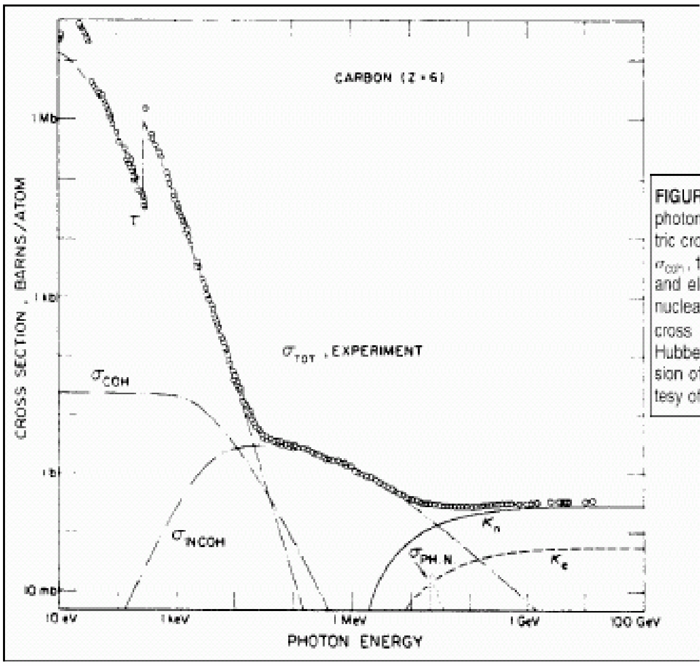
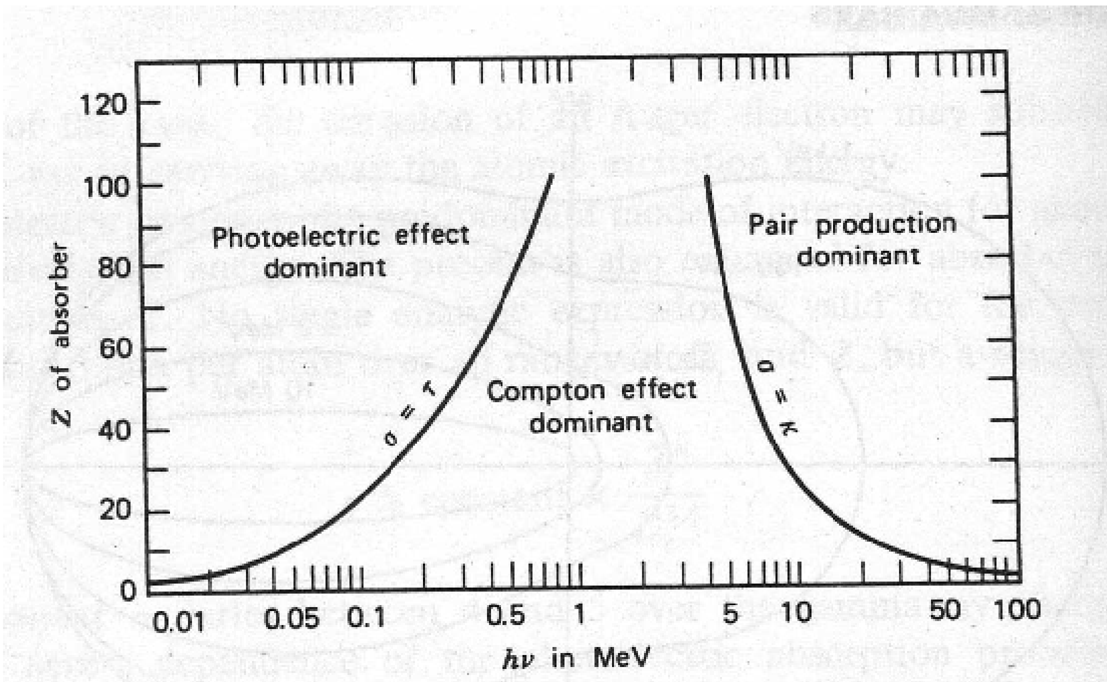


FIGURE 14.2. Total cross section for the interactions of photons with carbon versus photon energy. The photoelectric cross section is τ, the coherent scattering cross section σ_{coh}, the total Compton cross section σ_{incoh}, and the nuclear and electronic pair production are κ_n and κ_e. The photonuclear scattering cross section σ_{PHN} is also shown. The cross section is given in barns: 1 b = 10^{-28} m^2. From Hubbell, Gimm, and Øverbø (1980). Reproduced by permission of the American Institute of Physics. Photograph courtesy of J. H. Hubbell.

Note: barns/atom units

الشكل(3.2).مناطق السيطرة لكل نوع من الأنواع الثلاثة من تفاعلات غاما مع الكربون



الشكل(4.2)

أثر العدد الذري للمادة وطاقة الفوتون على مناطق سيادة الأنماط الثلاثة لتفاعلات غاما مع المادة

5.2. معاملات التوهين، انتقال الطاقة، والامتصاص:

بفرض أن حزمة من الفوتونات وحيدة الطاقة شدتها I_0 تسقط بشكل عمودي على مـــادة ذات سماكة محددة. عدد الفوتونات التي تختفي من الحزمة بعد اجتياز السماكة dx يعطى بالعلاقة:

$$-dI = I(x)N\sigma \ dx.........(11.2)$$

حيث N عدد الأهداف في وحدة الحجم من المادة، I(x) شدة الحزمة عند العمق x مـــن المـــادة، σ المقطع العرضي الكلي للتفاعل. الإشارة السالبة تدل على التناقص.

من العلاقة السابقة سنجد أن:

$$I(x) = I_0 \ e^{-\mu \ x}.........(12.2)$$

حيث μ هو معامل التوهين الخطي للفوتونات، وحدته cm^{-1}. هناك معامل آخر للتـــوهين هـــو معامل التوهين الكتلي الذي يعبر عن معامل التوهين بواحدة الكتلة السطحية من الهدف. يـــرتبط هـــذا المعامل بمعامل التوهين الخطي بالعلاقة:

$$K = \frac{\mu}{\rho}\left(\frac{cm^2}{g}\right)\dots\dots\dots(13.2)$$

يتأثر معامل التوهين الخطي بالحالة الفيزيائية للوسط، لذلك عدل إلى معامل التوهين الكتلي والذي لا يتأثر بهذه العوامل، فمثلاً معامل التوهين الكتلي للماء لا يتغير سواء كان في الحالة السائلة أو الغازية.

يعمل معامل التوهين الكتلي كمؤشر لمقدار ما سيختفي من الحزمة الإشعاعية بعد عبورها لسماكة معينة من المادة. هناك معامل آخر هو معامل نقل الطاقة من الإشعاع (غير مباشر التأيين) إلى المادة، هذا المعامل يعرف بالصيغة التالية:

$$K_{tr} = \frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{1}{\rho.R}\frac{dR_{tr}}{dx}\dots\dots\dots(14.2)$$

حيث μ_{tr} هو المعامل الخطي لانتقال الطاقة من الإشعاع غير مباشر التأيين (فوتونات ونترونات) إلى المادة. أو بعبارة أخرى μ_{tr} هو نسبة الطاقة الإشعاعية المنتقلة كطاقة حركية إلى الكترونات المـــادة خلال مسافة dx.

بعد انتقال الطاقة إلى الكترونات الوسط قد يفقد منها جزء على هيئة إشـــعاع كهرومغناطيـــسي (أشعة كبح). بفرض أن نسبة هذا الفقد هي g ونسبة ما تم امتصاصه في المادة (1-g) فإننـــا نـــستطيع كتابة المعامل الكتلي لامتصاص الطاقة على النحو التالي:

$$K_a = \frac{\mu_a}{\rho} = \frac{\mu_{tr}}{\rho}(1-g)\dots\dots\dots(15.2)$$

حيث μ_a معامل امتصاص الطاقة الخطي. تبين المعادلة (15.2) أن المعامل الكتلـــي لامتـــصاص الطاقة أقل من المعامل الكتلي لانتقال الطاقة.

6.2. كشف أشعة غاما:

لا تحمل أشعة غاما شحنة كهربائية لذلك فهي غير مباشرة التأيين. تعمل أشعة غاما على نقل طاقتها إما بشكل كامل (المفعول الكهرضوئي) أو بشكل جزئي (كومبتون) إلى الكترونات الوسط العابرة له. بعد اكتساب هذه الالكترونات طاقة، من الفوتونات الواردة، تتحرر من ذراتها لتصبح حرة الحركة. وعند تسليط فرق جهد مناسب يمكننا تجميع هذه الالكترونات لتشكل تياراً كهربائياً (تقنية التيار) أو فرق جهد (تقنية النبضة). يعالج الخرج سواء تيار أو نبضة بمروره عبر الكترونيات مناسبة ليظهر بالشكل المراد. تستخدم تقنية النبضة بشكل أوسع من تقنية التيار وذلك بسبب:

1) زمن وصول النبضة إلى أقصى ارتفاع لها يتعلق بزمن تجمع الشحنات (الالكترونات) في الكاشف.

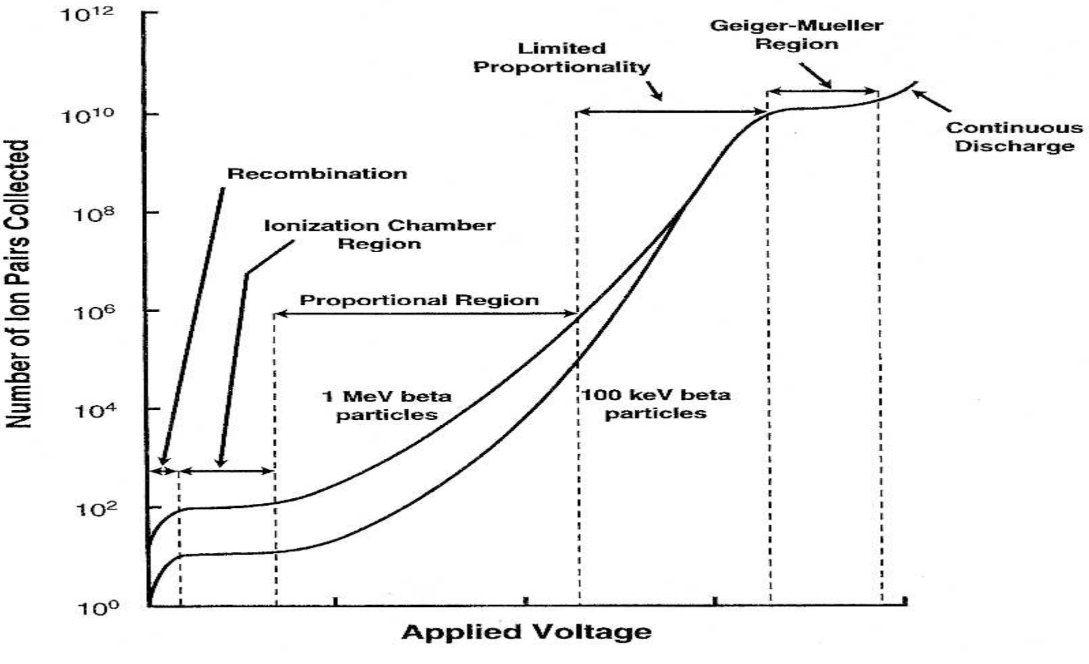
2) ارتفاع النبضة يتناسب مع طاقة الإشعاع الساقط.

توجد عدة أنواع من كواشف أشعة غاما: الكواشف الغازية، الكواشف الوميضية، وكواشف أنصاف النواقل.

تنقسم الكواشف الغازية إلى الأنواع التالية:

حجيرة التأين، العداد التناسبي، عداد غايغر. كل نوع من هذه الأنواع له منطقة جهد يعمل عندها. يوضح الشكل (2-5) مناطق الجهد التي تعمل فيها الكواشف الغازية.

منطقة التناسب (proportional Region) هي منطقة الجهد الذي تعمل تحته العدادات (الكواشف) التناسبية. في هذه المنطقة يتناسب عدد الالكترونات، الناتجة عن تأين غاز الكاشف، مع طاقة الإشعاع المسبب لهذا التأين.



الشكل(5.2) مناطق عمل الكواشف الغازية. [E2]

7.2. تدريع أشعة غاما:

كما رأينا في فقرة سابقة فإن المواد ذات العدد الذري الكبير تفضل لصناعة الدروع الخاصة بأشعة غاما. بناء على ذلك فإن اليورانيوم هو أفضل المواد الطبيعية المتوفرة، ولكن ولأسباب هندسية واقتصادية يعتبر الرصاص المادة الأولى لتدريع أشعة غاما.

من أهم المعاملات في حسابات التدريع هو حساب سماكة النصف:

$$X_{1/2} = \frac{ln2}{\mu} \dots\dots\dots (16.2)$$

حيث أن: $X_{1/2}$ السماكة التي تعمل على خفض شدة الحزمة الإشعاعية إلى النصف، μ معامل التوهين الخطي. في هذه الحالة تكون $X_{1/2}$ تمثل سماكة النصف الخطية.

الجزء العملي

المحتويات :

الفصل الثالث

المقترح الجديد لتصميم حاوية تشعيع نيترونية

1.3. مقدمة:

سيتناول هذا الفصل وصف لحاوية التشعيع النترونية القديمة من حيث أبعادها وتركيبها ومشاكلها يلي ذلك وصف لمصدر النترونات (Am^{241}-Be^{9}) المراد تدريعه وأخيرا وصف لحاوية التشعيع النترونية الجديدة من حيث الأبعاد والتركيب.

2.3. وصف حاوية التشعيع النترونية القديمة:

قامت هيئة الطاقة الذرية السورية بتصميم حاوية لمعايرة النترونات لتطبيق مبادئ ومعايير الوقاية الإشعاعية، ومن أهم تلك المبادئ الإستمثال. والذي يعرف هنا على أنه جعل الجرعة الإشعاعية وعدد المتعرضين من الممارسة الإشعاعية عند أدنى حد ممكن الوصول إليه بشكل معقول آخذين بعين الاعتبار الإمكانات الاقتصادية. تتمتع الحاوية بالخصائص التالية:

- أسطوانية الشكل
- قطرها 120cm
- ارتفاعها 183cm
- زرعت فيها أنابيب من البلاستيك لتمثل فتحات تشعيع.
- ملئت هذه الأسطوانة حول أنابيب التشعيع بمادة شمع البرافين، علماً بأنه من الممكن إغلاق فتحات التشعيع بكتل مناسبة من مادة شمع البرافين حسب الحاجة الشكل (1.3) و(2.3).

3.3. مشاكل حاوية التشعيع النترونية القديمة:

- تحريك المنبع يتم بشكل يدوي وبالتالي زيادة جرعة العاملين.
- تأثر شمع البرافين بالعوامل الجوية مثل ذوبانه وبالتالي انسداد بعض قنوات التشعيع وهذا ما يعيق عملية التشعيع.

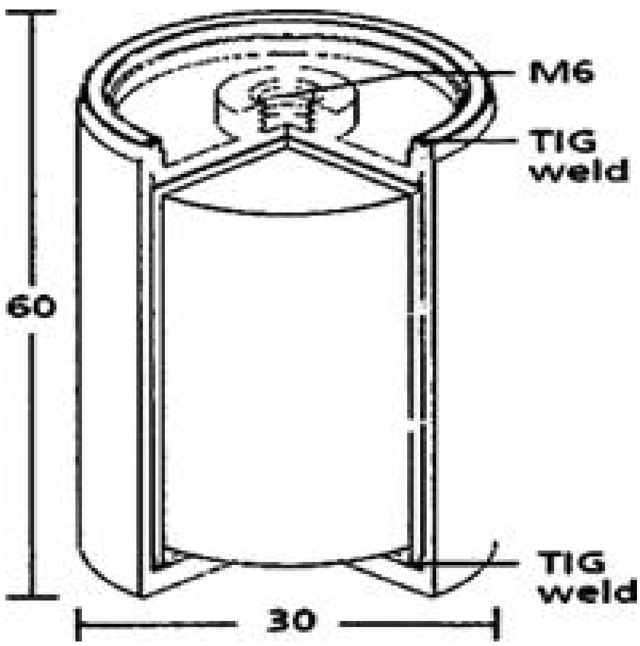
- عدد قنوات التشعيع محدود وبالتالي إمكانية الحصول على جرعات معينة محدود أيضاً.
- كبيرة الحجم بحيث تبقى ثابتة في مكانها.

الشكل (1.3) حاوية التشعيع النترونية القديمة

الشكل(2.3) حاوية التشعيع النترونية القديمة

4.3. وصف المصدر النتروني المشع:

المصدر الإشعاعي المستخدم هو المصدر الذي يستخدم في مخبر المعايرة التابع لهيئة الطاقة الذرية السورية. هذا المصدر من نوع المصادر النظائرية (α,n). وهو عبارة عن خليط متجانس من نظيري البريليوم (Be^9) والأمريشيوم (Am^{241})، والذي يشكل البريليوم أغلب مادته. غلفت مادة المصدر بطبقتين متتاليتين من مادة الستانلس ستيل بشكل أسطوني سماكة كل منهما 1.2mm، ونصف الاسطوانة الداخلية 13.5mm أما الخارجية 15mm، أما الارتفاع فهو 60mm، ونوع الاسطوانة X.14 حسب ترميز الشركة الصانعة (Amersham). أنظر الشكل(3.3). المصدر يحوي 5 كوري من الأمريشيوم، شدة المصدر النتروني هي $S = 1.1 \times 10^7 n.s^{-1}$. [A4]

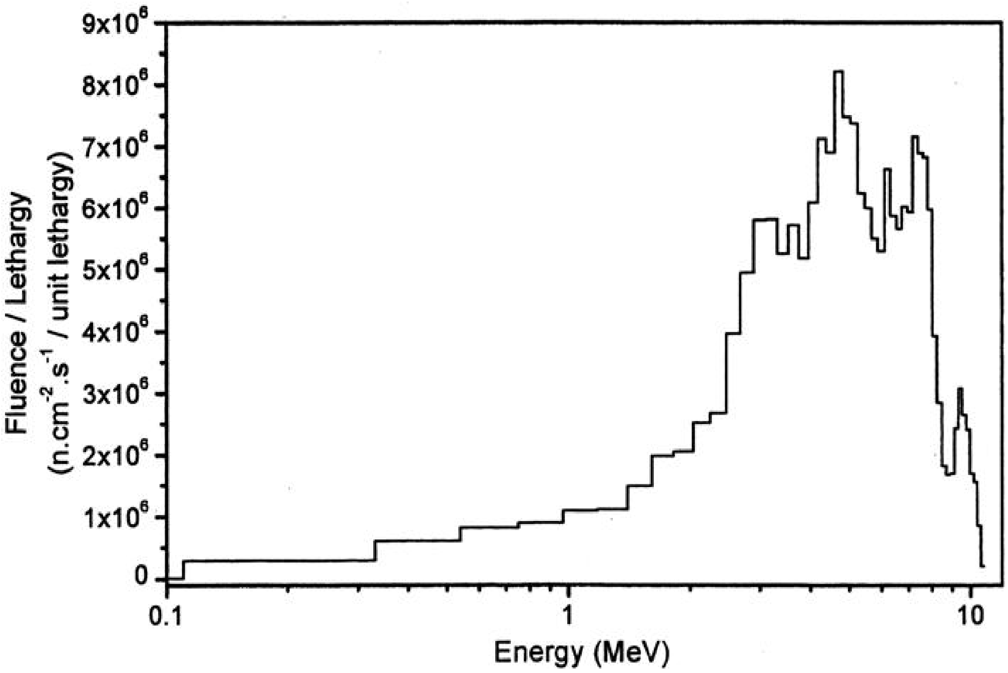


الشكل(3.3)

مصدر النترونات من النوع(α,n)، Am^{241}-Be^9 الأبعاد مقاسة بالميليمتر.

يتفكك نظير الأمريشيوم مطلقاً جسيمات ألفا بطاقات مختلفة، تتفاعل جسيمات ألفا مع نوى البريليوم مما يسمح بإطلاق نترونات، حسب التفاعل $B^9(\alpha,n)C^{12}$. يرافق إصدار النترونات إصدار أشعة غاما بطاقة 4.44Mev، نسبة ما يصدره المصدر من هذه الفوتونات إلى ما يصدره من نترونات 59.6%. [A4].

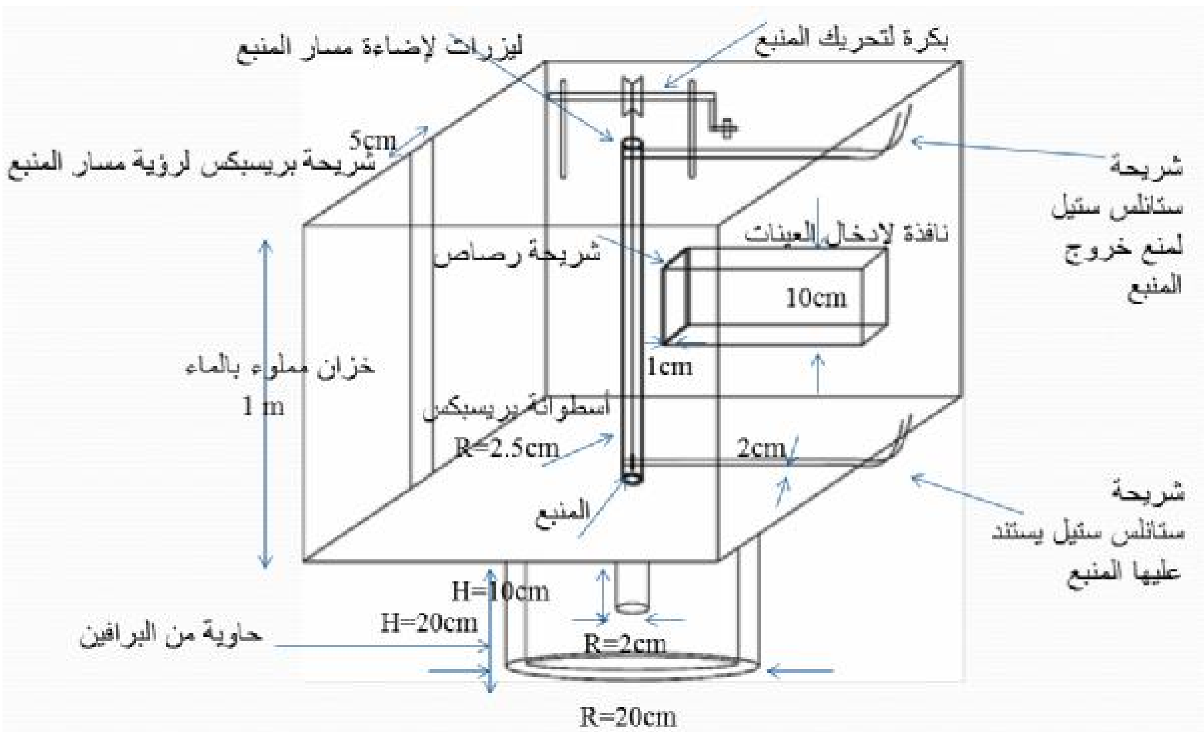
تنطلق هذه النترونات بطاقات مختلفة مشكلة طيف مستمر. نظراً لأهمية هذا الطيف في مجال المعايرة النترونية فقد وصفته الISO ، أنظر الملحق (A). [E8] تتركز أكثر من 98% من نترونات هذا الطيف في المجال السريع 0.1-10.8Mev، أنظر الشكل(4.3).



الشكل(4.3)

الطيف الناتج عن مصدر Am^{241}-Be^{9}. رسم هذا الطيف استناداً إلى الــISO [E8]

5.3. وصف المقترح الجديد لحاوية التشعيع النترونية:



الشكل(5.3) حاوية التشعيع النترونية الجديدة

- مكعب من الستانلس ستيل مملوء بالماء طول ضلعه 1m.
- أسطوانة من البريسبكس مملوءة بالماء يتحرك ضمنها المنبع النتروني مزروع على سطحها ليزرات مضيئة نصف قطرها 2.5cm.
- مقابل أسطوانة البريسبكس توجد شريحة بريسبكس أيضا تتوضع على الجانب الأيسر من الحاوية.
- نافذة من الستانلس ستيل لإدخال العينات المطلوب تشعيعها طول ضلعها 10cm تتوضع على الجانب الأيمن من الحاوية، أما وجه النافذة فهو من الرصاص ذو سماكة 1cm.
- يخترق أنبوبة البريسبكس شريحتين من الستانلس ستيل من الأعلى لمنع خروج المنبع ومن الأسفل لكي يتوضع المنبع عليها، سماكة الشريحة الواحدة 2cm.
- أسفل حاوية التشعيع يوجد أسطوانة من شمع البرافين نصف قطرها 20cm وارتفاعها 20cm أما الأسطوانة الداخلية نصف قطرها 2cm وارتفاعها 10cm.

صفحة بياض

الفصل الرابع
خصاص حاوية التشعيع النترونية الجديدة

1.4. مقدمة:

سيتناول هذا الفصل خصائص حاوية التشعيع النترونية الجديدة عند التدريع والتشعيع وأخيراً عند وضع الخطورة.

2.4. حدود الجرعات في التعرض المهني للإشعاع:

توصي الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) بضرورة التحكم بالتعرض المهني للعاملين بحيث لا تتعدى قيمته لأي عامل الحدود التالية:

- الجرعة الفعالة المتوسطة في السنة قدرها 20mSv أي ما يعادل $0.167\mu Sv.min^{-1}$ وبما لا يزيد عن 100mSv خلال 5 سنوات متتالية.
- الجرعة الفعالة المتوسطة لا تزيد عن 50mSv في أي سنة على أن لا تتجاوز 100mSv خلال 5سنوات.

3.4. المحاكاة باستخدام كود MCNP-5C

الكود MCNP كود ثلاثي الأبعاد متعدد الأغراض. يعمل هذا الكود بالاستفادة من طريقة مونتي كارلو. طور هذا الكود في مختبر لوس الاموس الوطني بالولايات المتحدة الأمريكية، يستطيع حل مسائل نقل النترونات، الفوتونات والإلكترونات. كذلك يستطيع الكود حساب معامل الحرجية للأنظمة الحرجة. يعالج الكود أي تصميم هندسي ثلاثي الأبعاد للمادة المعرفة على شكل خلايا محاطة بسطوح هندسية. مر هذا الكود بمراحل متعددة لتطويره إلى أن أصبح في نسخته المسماة MCNP-5C.

1.3.4. ملف الدخل Input File

تعتبر كتابة ملف الدخل بشكل صحيح المرحلة الأساسية لحل المسألة الفيزيائية المطلوبة. يتكون ملف الدخل من ثلاثة أجزاء رئيسية:

1- الخلايا التي تحاكي الوسط المادي الذي ينتقل خلاله الإشعاع.

2- السطوح التي تشكل الخلايا.

3- المعلومات، والتي تشمل على:

- توصيف المصدر وطيفه.
- تركيب ونسب المواد داخل الخلايا
- المعلومات المطلوبة (Tallies).

2.3.4. ملف الخرج Output File

تتضمن ملفات الخرج المعلومات التي كنا قد طلبناها في ملفات الدخل.

4.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التدريع باستخدام كود MCNP-5C:

قبل البدء يجب أن نشير إلى أن معدل الجرعة الكلية هو مجموع معدل جرعة النترونات الصادرة عن المصدر المشع بالإضافة إلى معدل جرعة أشعة غاما، كما أن الأخيرة تتألف من /3/ مركبات:

- جرعة أشعة غاما ذات الطاقة 59.5kev الناتجة عن نظير الأمريشيوم.
- جرعة أشعة غاما ذات الطاقة 4.4Mev المصاحبة لإصدار النترونات.
- جرعة أشعة غاما المحرضة الناتجة عن تفاعل النترونات مع مكونات الحاوية.

$$(\text{Dose Rate})_{total} = (\text{Dose Rate})_{\gamma} + (\text{Dose Rate})_{n}$$

- تم استخدام كود MCNP-5C لحساب الجرعة الإشعاعية الممتصة وذلك بعد إدخال المجال الطاقي للمنبع المشع وباستخدام معاملات التحويل من الطاقة إلى الجرعة تم الحصول على الجرعة بواحدة $cGy.min^{-1}$
- يجب الإشارة إلى أن هذه الجرعة ناتجة عن النترونات الحرارية والمتوسطة والسريعة
- عند وضع التدريع والخطورة أكثر ما يهمنا هو الإجراء الوقائي وسلامة العاملين لذلك تم حساب الجرعة الفعالة وفق القانون التالي

$$H_{TR} = D_{TR} * W_{R}$$

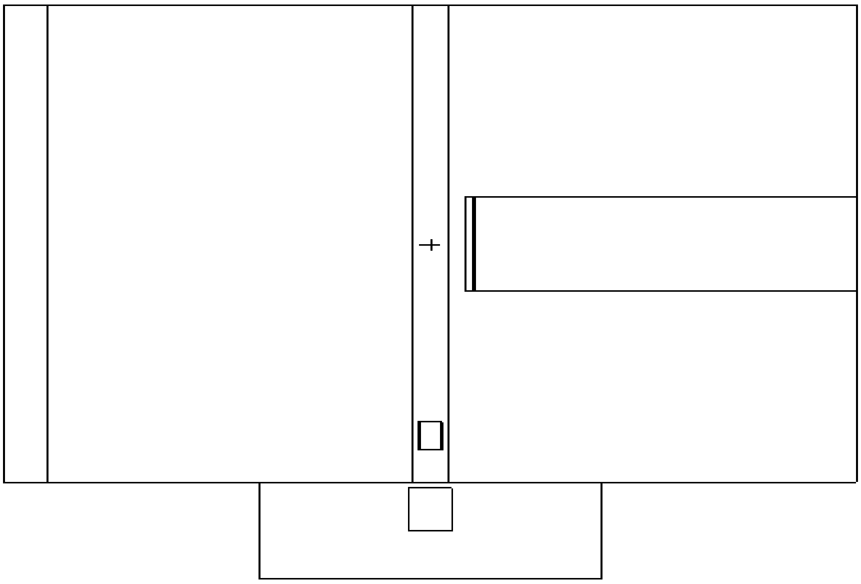
H_{TR}: معدل الجرعة الفعالة ($Sv.s^{-1}$).

D_{TR}: معدل الجرعة الممتصة ($Gy.s^{-1}$).

W_{R}: معامل الإشعاع المرجح وقيمه وفق الجدول التالي [A3]:

معامل الإشعاع المرجح	نوع الإشعاع وطاقته
1	الفوتونات بكامل طاقتها
5	$E_n < 10Kev$
10	$10Kev \leq E_n < 100Kev$
20	$100Kev \leq E_n < 2Mev$
5	$2Mev \leq E_n < 20Mev$

- أما عند وضع التشعيع أكثر ما يهمنا هو معدل الجرعة الإشعاعية الممتصة والـــتي تم تقـــديرها بالواحدة $\mu Gy.s^{-1}$.



الشكل(**1.4**)

الحاوية عند وضع التدريع باستخدام كود MCNP-5C

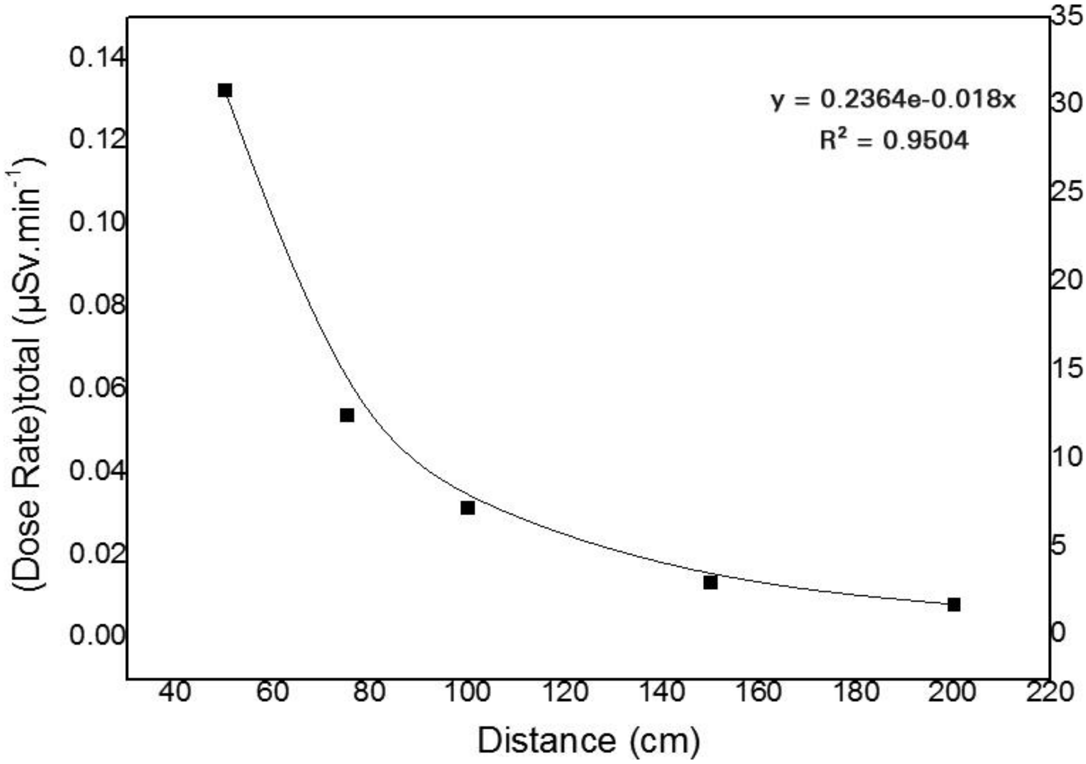
1.4.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديـــدة عنـــد وضع التدريع وفق المحور (**x**) باستخدام كود: **MCNP-5C**.

Error	$(\text{Dose Rate})_{total}$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	(Dose Rate)□ ($\mu Sv.min^{-1}$)	$(\text{Dose Rate})_{n}$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	Distance(cm)
6.20E-03	1.33E-01	1.54E-02	1.17E-01	50
1.80E-03	5.40E-02	1.32E-02	4.08E-02	75
1.00E-04	3.17E-02	8.53E-03	2.32E-02	100
2.10E-03	1.35E-02	4.23E-03	9.30E-03	150
5.10E-04	8.16E-03	2.46E-03	5.70E-03	200
2.10E-03	1.07E-01	8.99E-02	1.76E-02	-50
2.30E-03	1.73E-02	1.31E-02	4.20E-03	-75
1.30E-03	1.25E-02	8.37E-03	4.08E-03	-100
2.20E-04	7.02E-03	4.16E-03	2.86E-03	-150
3.40E-04	5.25E-03	2.43E-03	2.82E-03	-200

الجدول(**1.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(X) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(2.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع

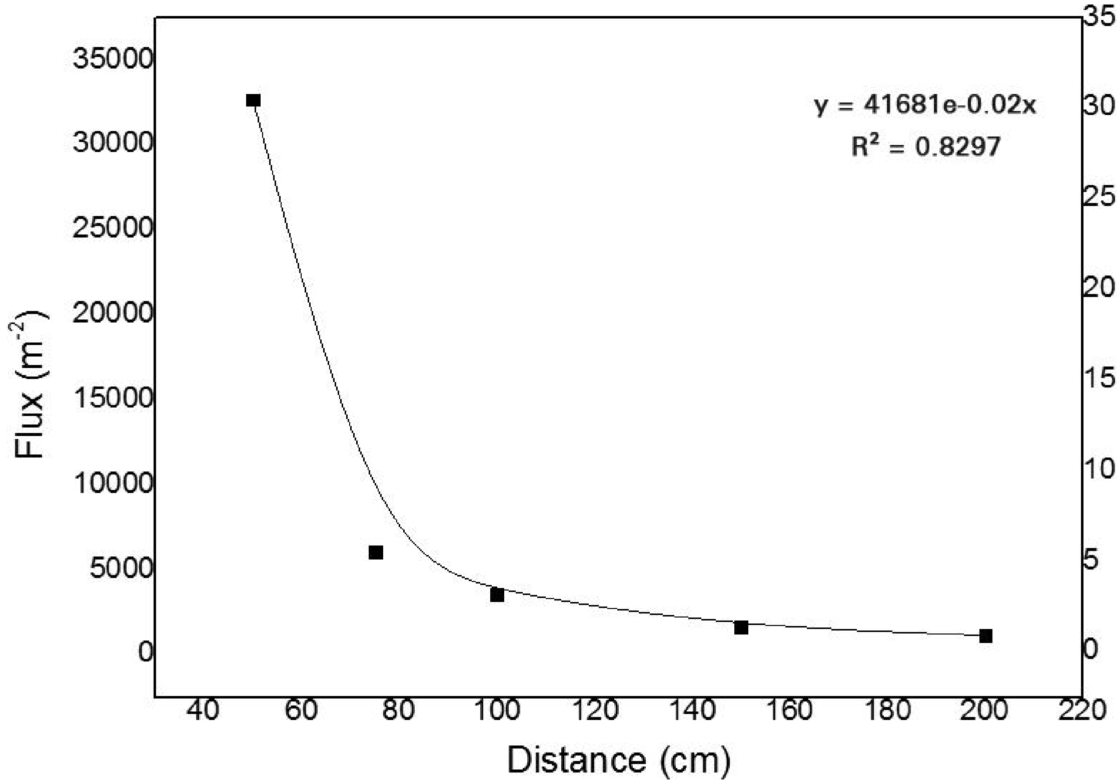
وفق المحور (X) باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10-6	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
44.2	17.7	38.1	2.49%	32690	50
45.6	19	35.4	1.76%	6045	75
46.8	19.4	33.8	1.60%	3591	100
49	21.1	29.9	1.54%	1649	150
51.3	23.1	25.6	1.30%	1146	200

الجدول(2.4)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(X) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(3.4)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور (X) باستخدام كود MCNP-5C

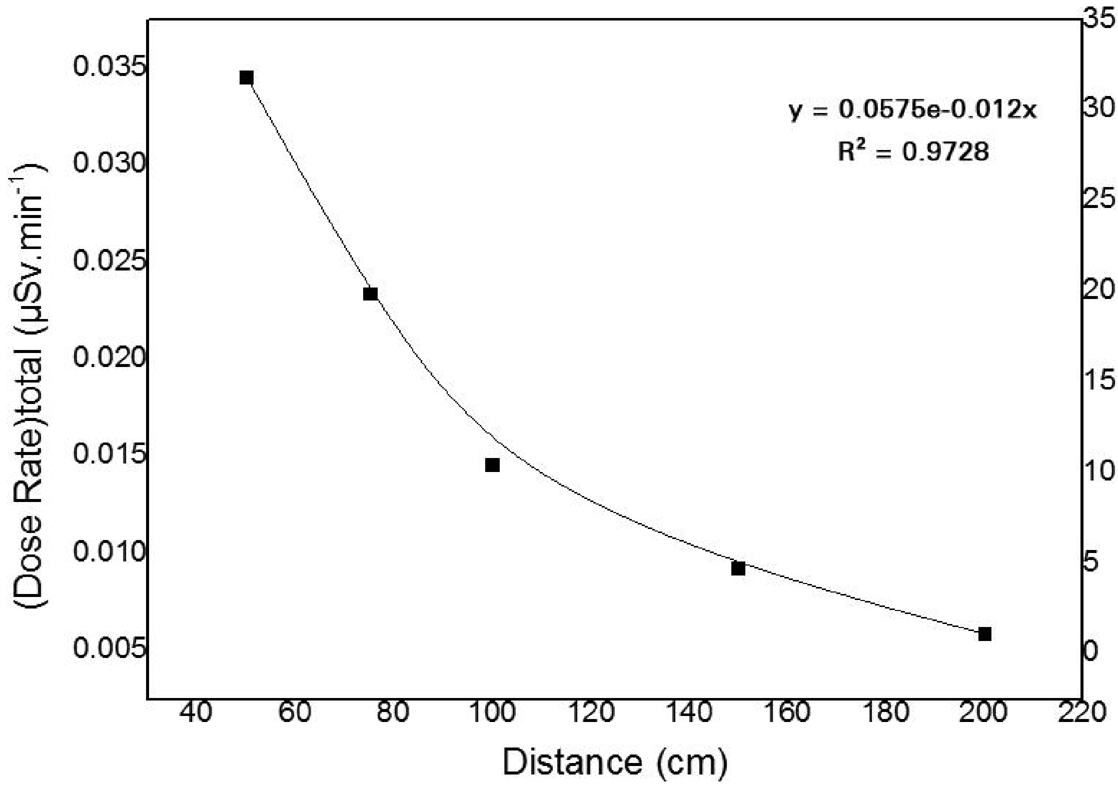
2.4.4 دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التدريع وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C:

Error	$(Dose Rate)_{total}$ (µSv.min^{-1})	(Dose Rate)□ (µSv.min^{-1})	$(Dose Rate)_{n}$ (µSv.min^{-1})	Distance(cm)
1.32E-03	3.46E-02	1.92E-02	1.54E-02	50
2.10E-03	2.54E-02	1.31E-02	1.23E-02	75
1.80E-03	1.46E-02	8.58E-03	6.04E-03	100
2.50E-03	9.26E-03	4.28E-03	4.98E-03	150
3.20E-04	5.88E-03	2.50E-03	3.38E-03	200
3.40E-03	2.57E-02	2.00E-02	5.72E-03	-50
1.50E-03	1.68E-02	1.33E-02	3.46E-03	-75
1.20E-04	1.15E-02	8.53E-03	2.98E-03	-100
2.10E-04	6.60E-03	4.20E-03	2.40E-03	-150
3.50E-04	3.66E-03	2.45E-03	1.21E-03	-200

الجدول(3.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(Y) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(**4.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع

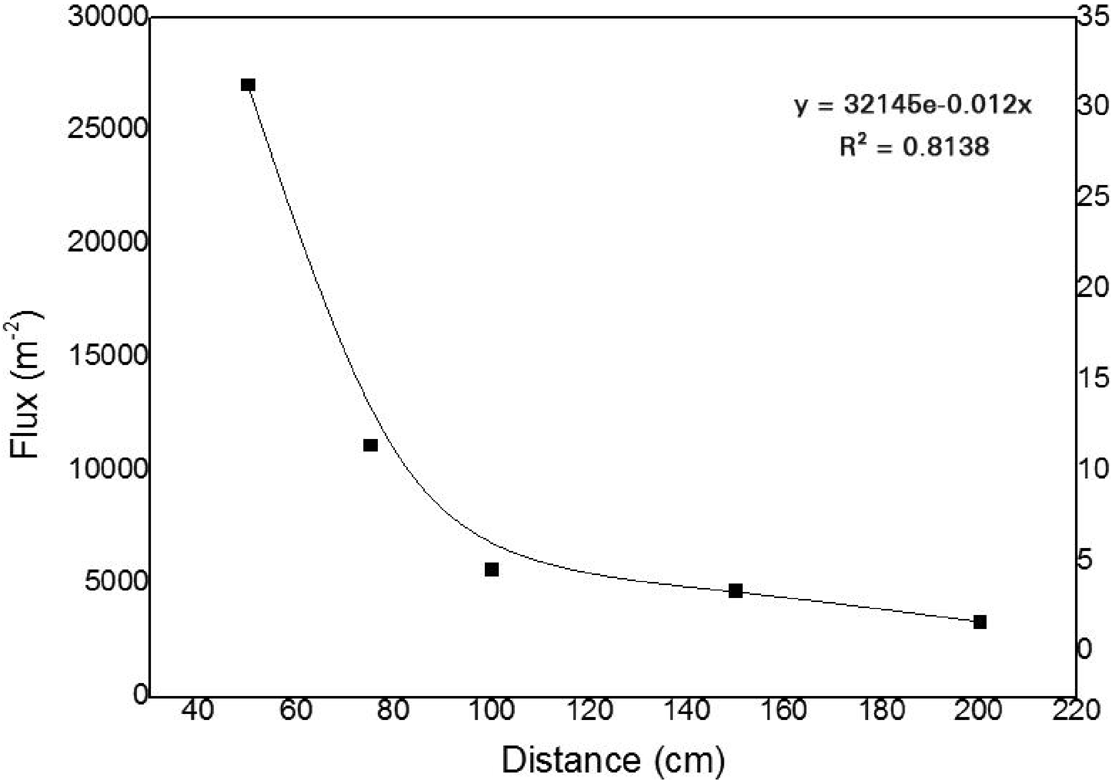
وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
37.5	35.7	26.8	3.07%	27082	50
39.2	35.7	25.1	3.85%	11165	75
40.3	36.4	23.3	3.45%	5660	100
41.6	37.8	20.6	2.56%	4728	150
42.6	38.7	18.7	1.76%	3331	200

الجدول(**4.4**)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(Y) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(**5.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C

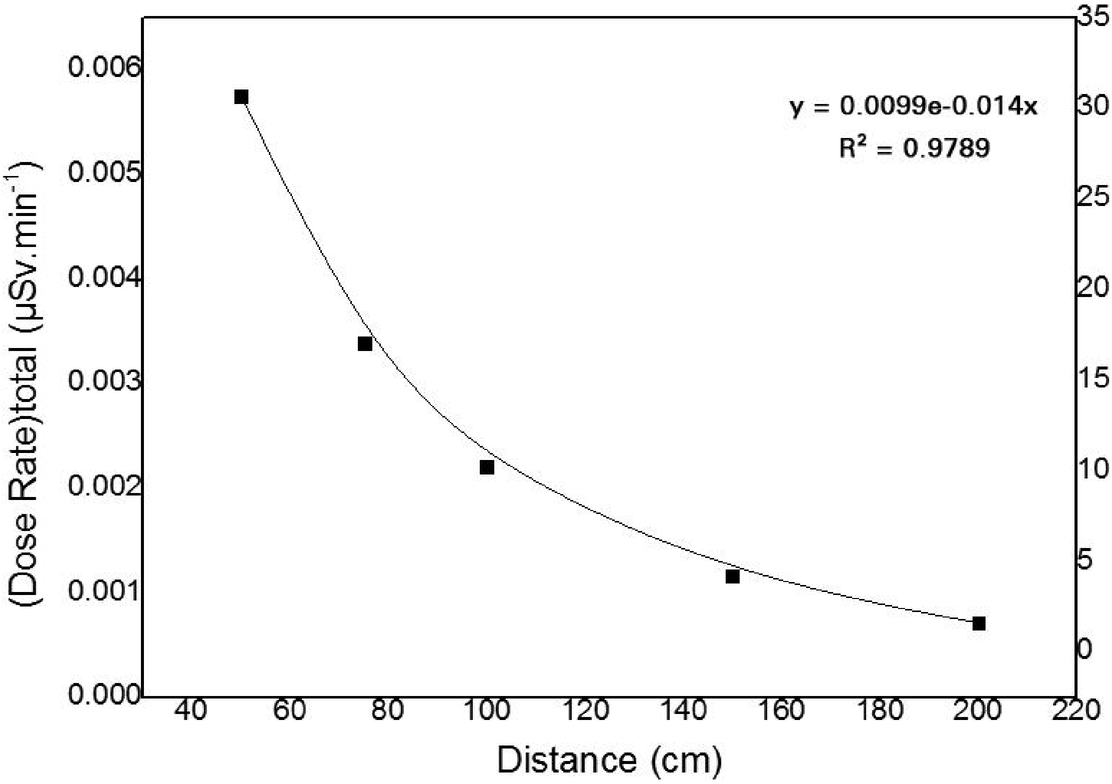
3.4.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التدريع وفق المحور (Z) باستخدام كود MCNP-5C:

Error	$(Dose\ Rate)_{total}$ (µSv.min^{-1})	(Dose Rate)□ (µSv.min^{-1})	$(Dose\ Rate)_n$ (µSv.min^{-1})	Distance(cm)
2.20E-04	5.76E-03	5.72E-03	3.72E-05	50
3.40E-04	3.39E-03	3.37E-03	2.10E-05	75
3.10E-04	2.21E-03	2.20E-03	1.03E-05	100
2.60E-04	1.16E-03	1.15E-03	7.50E-06	150
3.10E-05	7.11E-04	7.08E-04	2.80E-06	200

الجدول(**5.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(Z) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(**6.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع

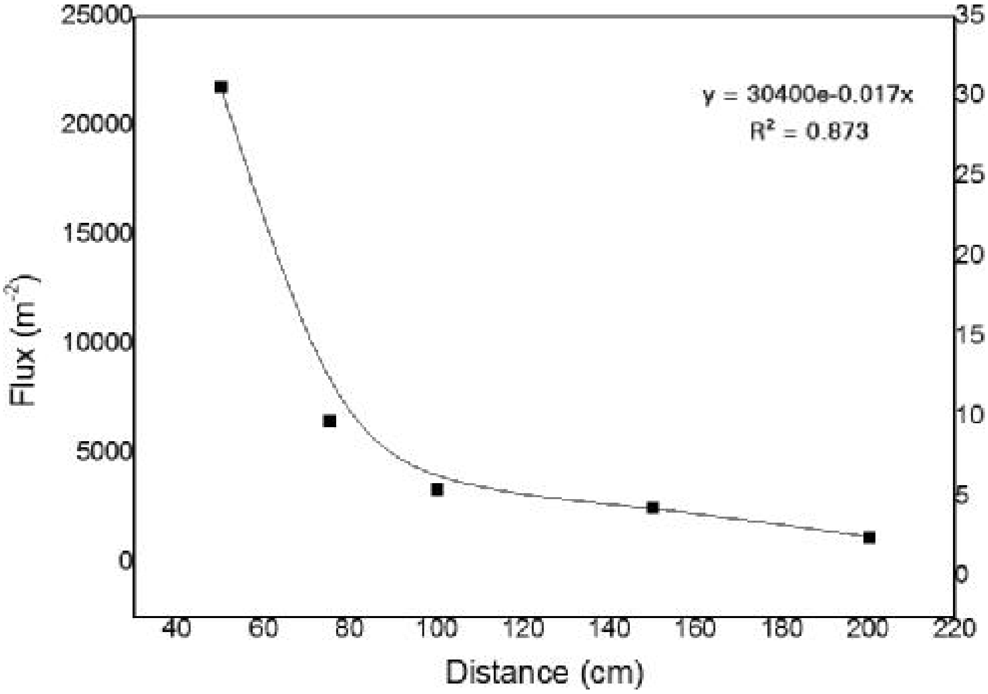
وفق المحور (Z) باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
75.3	13.1	11.6	2.92%	21809	50
77.6	11.6	10.8	2.85%	6505	75
80.1	11.2	8.7	1.96%	3369	100
81.2	11.3	7.5	2.85%	2548	150
82.5	11.9	5.6	2.79%	1170	200

الجدول(**6.4**)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التدريع

وفق المحور(Z) باستخدام كود MCNP-5C

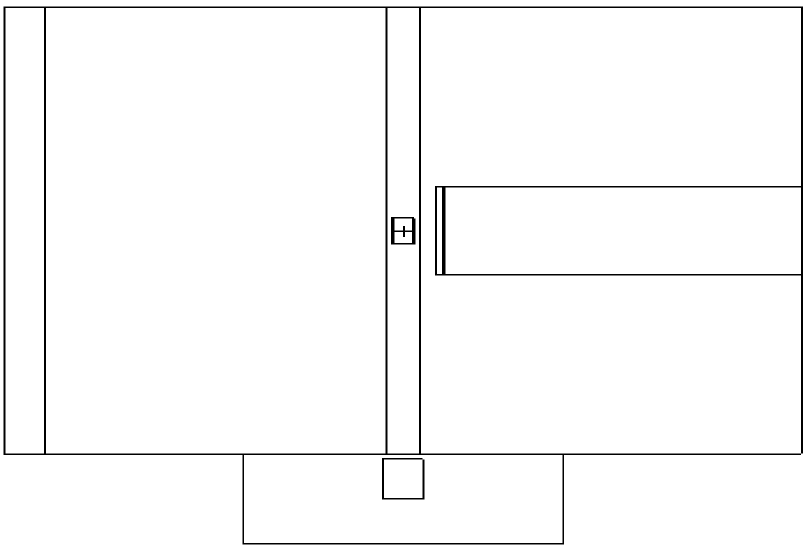


الشكل(**7.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التدريع وفق المحور (Z) باستخدام كود MCNP-5C

5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود MCNP-5C:

1.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود MCNP-5C في حال عدم وجود أي شريحة برافين:



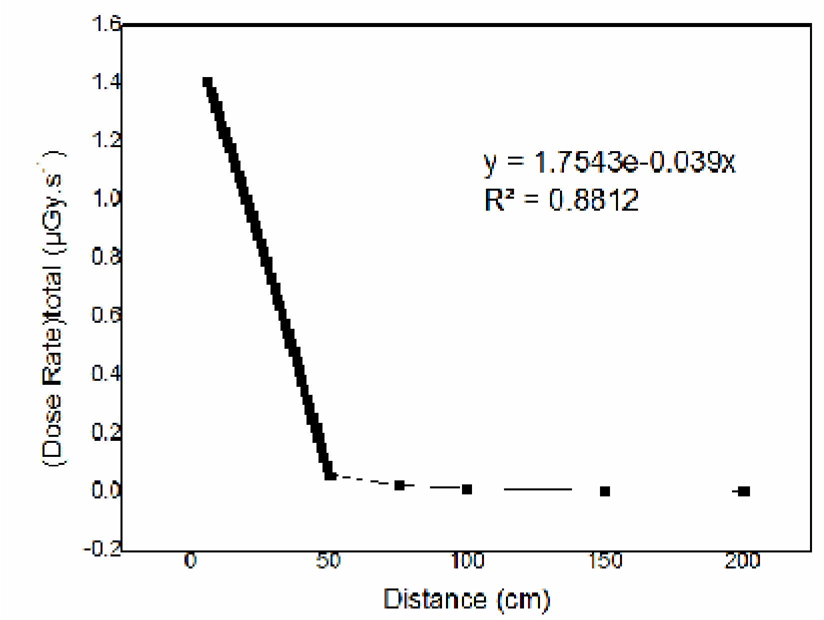
الشكل(**8.4**)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة(0mm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

(Dose Rate)$_{total}$ (µGy.s^{-1})	(Dose Rate) (µGy.s^{-1})	(Dose Rate)$_{n}$ (µGy.s^{-1})	Distance(cm)
1.41E+00	8.78E-02	E+001.32	6
1.38E+00	8.54E-02	1.29E+00	7
1.35E+00	8.34E-02	1.27E+00	8
1.32E+00	8.14E-02	1.24E+00	9
1.29E+00	7.95E-02	1.21E+00	10
1.26E+00	7.75E-02	1.18E+00	11
1.24E+00	7.55E-02	1.16E+00	12
1.20E+00	7.36E-02	1.13E+00	13
1.18E+00	7.16E-02	1.11E+00	14
1.15E+00	6.96E-02	1.08E+00	15
1.12E+00	6.77E-02	1.05E+00	16
1.09E+00	6.57E-02	1.02E+00	17
1.06E+00	6.37E-02	9.99E-01	18
1.03E+00	6.18E-02	9.70E-01	19
1.00E+00	5.98E-02	9.44E-01	20
9.73E-01	5.78E-02	9.15E-01	21
9.45E-01	5.59E-02	8.89E-01	22
9.13E-01	5.39E-02	8.59E-01	23
8.85E-01	5.19E-02	8.33E-01	24
8.53E-01	5.00E-02	8.03E-01	25
8.24E-01	4.80E-02	7.76E-01	26
7.92E-01	4.60E-02	7.46E-01	27
7.63E-01	4.41E-02	7.19E-01	28
7.34E-01	4.21E-02	6.92E-01	29
7.02E-01	4.01E-02	6.62E-01	30
6.62E-01	3.82E-02	6.24E-01	31
6.40E-01	3.62E-02	6.04E-01	32
6.10E-01	3.42E-02	5.76E-01	33
5.77E-01	3.23E-02	5.45E-01	34
5.47E-01	3.03E-02	5.17E-01	35
5.14E-01	2.83E-02	4.86E-01	36
4.83E-01	2.64E-02	4.57E-01	37
4.48E-01	2.24E-02	4.26E-01	38
4.18E-01	2.05E-02	3.97E-01	39
3.85E-01	1.85E-02	3.66E-01	40
3.53E-01	1.65E-02	3.36E-01	41
3.20E-01	1.46E-02	3.05E-01	42
2.88E-01	1.26E-02	2.75E-01	43
2.55E-01	1.06E-02	2.44E-01	44
2.22E-01	8.67E-03	2.13E-01	45
1.89E-01	6.70E-03	1.82E-01	46
1.55E-01	4.73E-03	1.50E-01	47
1.22E-01	2.77E-03	1.19E-01	48
9.00E-02	2.17E-03	8.78E-02	49
5.56E-02	1.52E-03	5.41E-02	50
2.25E-02	6.73E-04	2.18E-02	75
1.21E-02	3.78E-04	1.17E-02	100
5.48E-03	1.66E-04	5.31E-03	150
3.23E-03	9.32E-05	3.14E-03	200

الجدول (7.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(0mm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



الشكل (**9.4**)

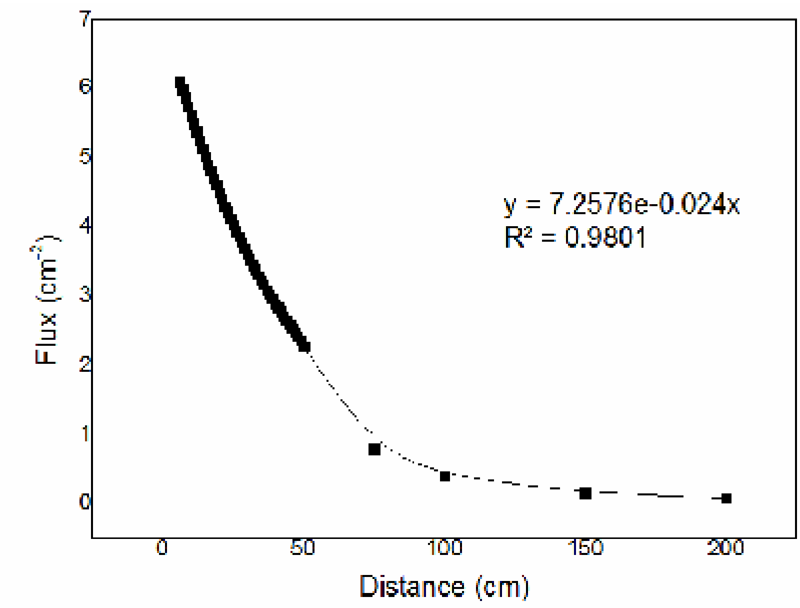
المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(0mm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage % Energy band (Mev) 1×10^{-9} – 1×10^{-6}	1×10^{-6} – 0.01	0.01 – 10.8	Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
10.20%	19.90%	69.90%	6.11E+00	6
10.20%	21.00%	68.80%	6.00E+00	7
10.30%	20.90%	68.80%	5.87E+00	8
10.30%	21.00%	68.70%	5.74E+00	9
10.40%	20.90%	68.70%	5.62E+00	10
10.40%	21.00%	68.60%	5.50E+00	11
10.50%	20.90%	68.60%	5.38E+00	12
10.50%	21.00%	68.50%	5.26E+00	13
10.60%	21.00%	68.40%	5.14E+00	14
10.60%	21.00%	68.40%	5.03E+00	15
10.70%	21.00%	68.30%	4.92E+00	16
10.70%	21.30%	68.00%	4.82E+00	17
10.80%	21.00%	68.20%	4.71E+00	18
10.80%	21.00%	68.20%	4.61E+00	19
10.90%	21.00%	68.10%	4.51E+00	20
10.90%	21.00%	68.10%	4.41E+00	21
11.00%	21.00%	68.00%	4.31E+00	22
11.00%	21.10%	67.90%	4.22E+00	23
11.10%	21.00%	67.90%	4.13E+00	24
11.10%	21.10%	67.80%	4.04E+00	25
11.20%	21.10%	67.70%	3.95E+00	26
11.20%	21.10%	67.70%	3.86E+00	27
11.30%	21.10%	67.60%	3.78E+00	28
11.40%	21.00%	67.60%	3.70E+00	29
11.40%	21.10%	67.50%	3.62E+00	30
11.50%	21.00%	67.50%	3.54E+00	31
11.50%	21.10%	67.40%	3.46E+00	32

Flux Percentage % Energy band (Mev)			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
11.60%	21.00%	67.40%	3.39E+00	33
11.60%	21.10%	67.30%	3.31E+00	34
11.70%	21.10%	67.20%	3.24E+00	35
11.70%	21.10%	67.20%	3.17E+00	36
11.80%	21.10%	67.10%	3.10E+00	37
11.80%	21.10%	67.10%	3.03E+00	38
11.90%	21.10%	67.00%	2.97E+00	39
11.90%	21.10%	67.00%	2.90E+00	40
12.00%	21.10%	66.90%	2.84E+00	41
12.00%	21.10%	66.90%	2.78E+00	42
12.10%	21.10%	66.80%	2.72E+00	43
12.10%	21.10%	66.80%	2.66E+00	44
12.20%	21.10%	66.70%	2.60E+00	45
12.20%	21.20%	66.60%	2.54E+00	46
12.20%	21.20%	66.60%	2.49E+00	47
12.30%	21.20%	66.50%	2.43E+00	48
12.30%	21.20%	66.50%	2.38E+00	49
12.30%	21.30%	66.40%	2.28E+00	50
15.90%	19.80%	64.30%	7.98E-01	75
17.50%	22.80%	59.70%	4.03E-01	100
20.80%	22.70%	56.50%	1.65E-01	150
23.50%	23.30%	53.20%	8.95E-02	200

الجدول (**8.4**)

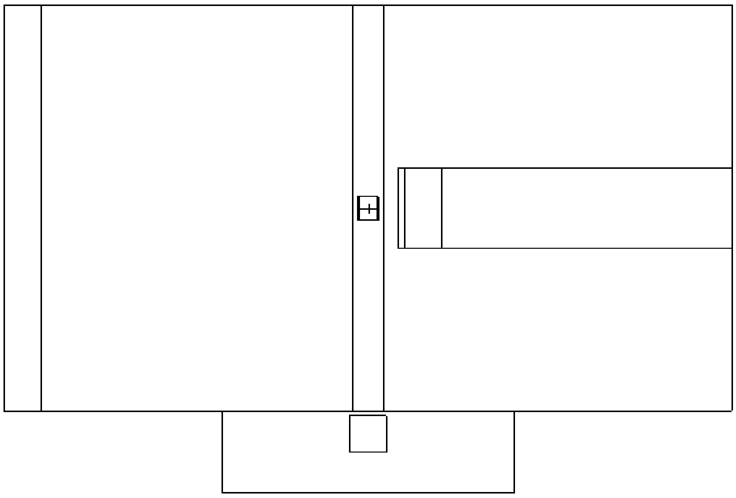
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(0mm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



الشكل (**10.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(0mm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

2.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود MCNP-5C من شريحة برافين ذات سماكة 5cm:



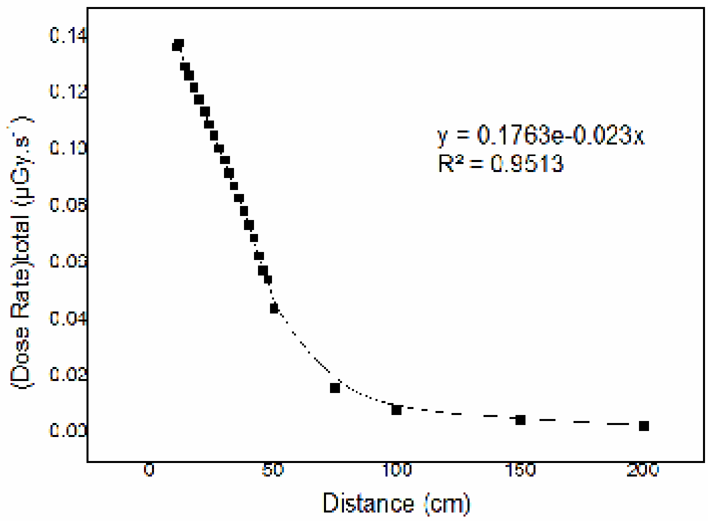
الشكل(11.4)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة(5cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

(Dose Rate)$_{total}$ (μGy.s^{-1})	(Dose Rate) (μGy.s^{-1})	(Dose Rate)$_{n}$ (μGy.s^{-1})	Distance(cm)
1.37E-01	2.55E-02	1.11E-01	11
1.38E-01	2.50E-02	1.13E-01	12
1.30E-01	2.38E-02	1.06E-01	14
1.27E-01	2.25E-02	1.04E-01	16
1.22E-01	2.13E-02	1.01E-01	18
1.18E-01	2.01E-02	9.78E-02	20
1.14E-01	1.88E-02	9.49E-02	22
1.09E-01	1.76E-02	9.18E-02	24
1.05E-01	1.64E-02	8.89E-02	26
1.01E-01	1.51E-02	8.57E-02	28
9.64E-02	1.39E-02	8.25E-02	30
9.19E-02	1.27E-02	7.92E-02	32
8.75E-02	1.14E-02	7.61E-02	34
8.31E-02	1.02E-02	7.29E-02	36
7.86E-02	8.97E-03	6.96E-02	38
7.38E-02	7.73E-03	6.61E-02	40
6.90E-02	6.50E-03	6.25E-02	42
6.26E-02	5.27E-03	5.73E-02	44
5.77E-02	4.03E-03	5.37E-02	46
5.42E-02	2.63E-03	5.16E-02	48
4.42E-02	1.41E-03	4.28E-02	50
1.62E-02	6.18E-04	1.56E-02	75
8.50E-03	3.45E-04	8.15E-03	100
4.93E-03	1.52E-03	3.41E-03	150
2.80E-03	8.48E-04	1.95E-03	200

الجدول (9.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(5cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



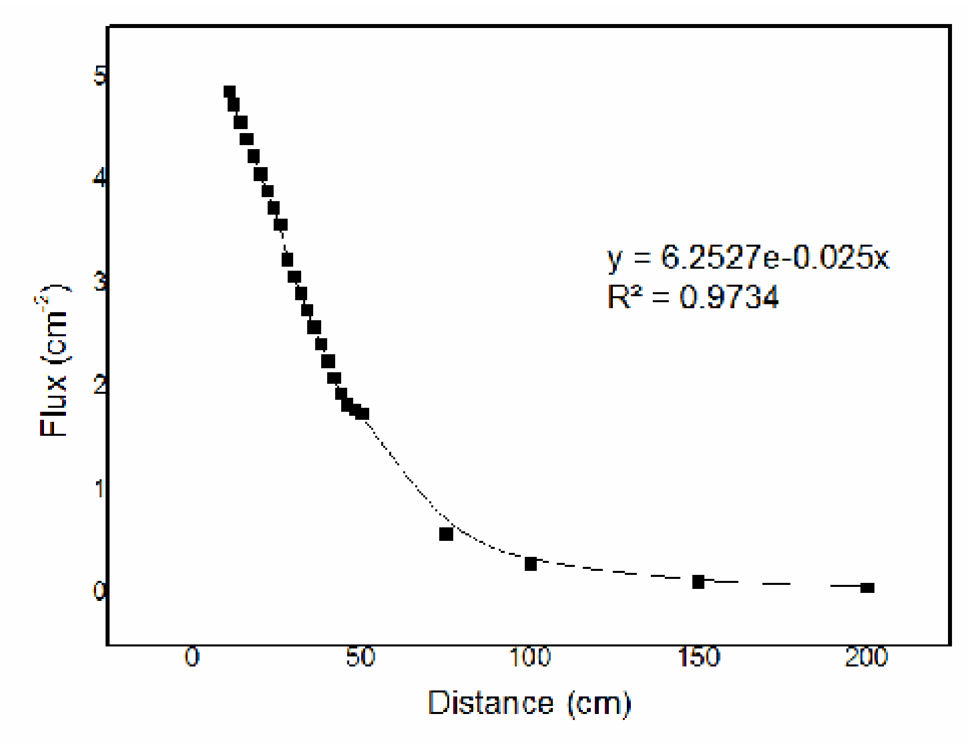
الشكل (**12.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(5cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)				
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
20.30%	24.90%	54.80%	4.8761	11
21.31%	23.89%	54.80%	4.7501	12
20.41%	24.94%	54.65%	4.5741	14
20.53%	25.10%	54.37%	4.409	16
20.64%	25.12%	54.24%	4.2439	18
20.78%	25.12%	54.10%	4.0759	20
20.88%	25.17%	53.95%	3.9069	22
21.00%	25.05%	53.95%	3.7459	24
21.10%	25.08%	53.82%	3.5784	26
21.21%	25.11%	53.68%	3.2464	28
21.32%	25.17%	53.51%	3.0839	30
21.43%	25.19%	53.38%	2.9159	32
21.54%	25.27%	53.19%	2.7545	34
21.65%	25.35%	53.00%	2.589	36
21.77%	25.34%	52.89%	2.4275	38
21.85%	25.40%	52.75%	2.2614	40
21.96%	25.43%	52.61%	2.1014	42
21.07%	26.43%	52.50%	1.9424	44
21.20%	26.50%	52.30%	1.841	46
22.35%	25.54%	52.11%	1.791	48
22.50%	25.60%	51.90%	1.752	50
25.40%	24.00%	50.60%	0.5888	75
26.90%	24.80%	48.30%	0.2954	100
28.10%	26.30%	45.60%	0.1196	150
30.20%	28.20%	41.60%	0.0648	200

الجدول (**10.4**)

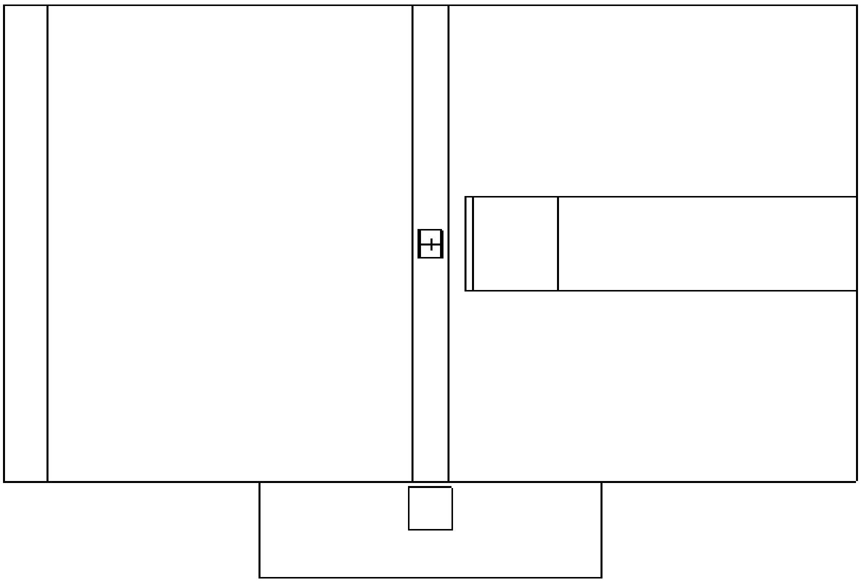
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(5cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



الشكل (**13.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**5cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

3.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود **MCNP-5C** من شريحة برافين ذات سماكة **10cm**:



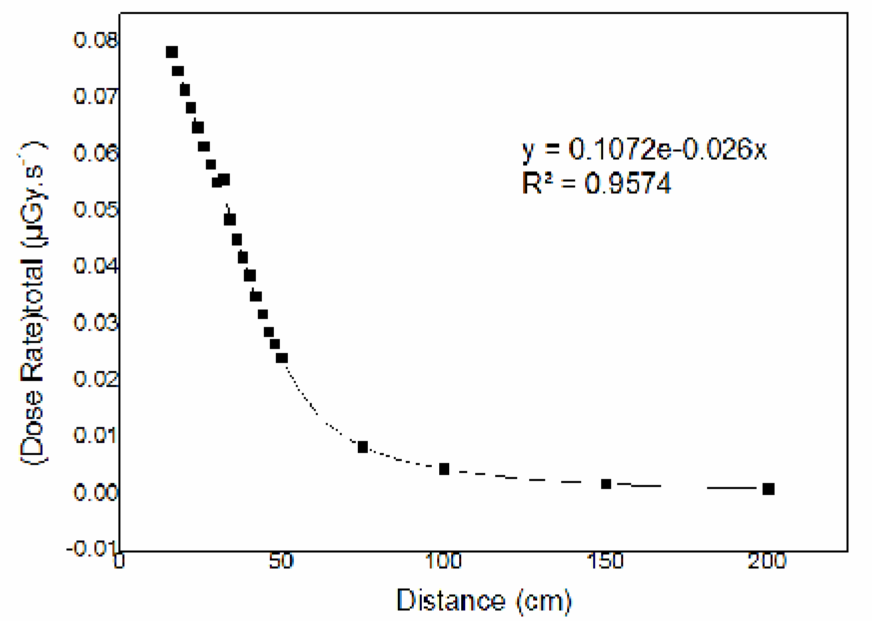
الشكل(**14.4**)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**10cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

(Dose Rate)$_{total}$ ($\mu Gy.s^{-1}$)	(Dose Rate) ($\mu Gy.s^{-1}$)	(Dose Rate)$_n$ ($\mu Gy.s^{-1}$)	Distance(cm)
7.83E-02	1.10E-02	6.73E-02	16
7.50E-02	1.04E-02	6.46E-02	18
7.17E-02	9.80E-03	6.19E-02	20
6.85E-02	9.20E-03	5.93E-02	22
6.50E-02	8.60E-03	5.64E-02	24
6.16E-02	8.00E-03	5.36E-02	26
5.85E-02	7.40E-03	5.11E-02	28
5.53E-02	6.80E-03	4.85E-02	30
5.58E-02	6.20E-03	4.96E-02	32
4.86E-02	5.60E-03	4.30E-02	34
4.53E-02	5.00E-03	4.03E-02	36
4.20E-02	4.40E-03	3.76E-02	38
3.87E-02	3.80E-03	3.49E-02	40
3.52E-02	3.20E-03	3.20E-02	42
3.19E-02	2.60E-03	2.93E-02	44
2.87E-02	2.00E-03	2.67E-02	46
2.65E-02	1.53E-03	2.50E-02	48
2.43E-02	1.26E-03	2.30E-02	50
8.55E-03	3.50E-04	8.20E-03	75
4.53E-03	3.00E-04	4.23E-03	100
1.93E-03	1.36E-04	1.79E-03	150
1.09E-03	7.58E-05	1.01E-03	200

الجدول (**11.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(10cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



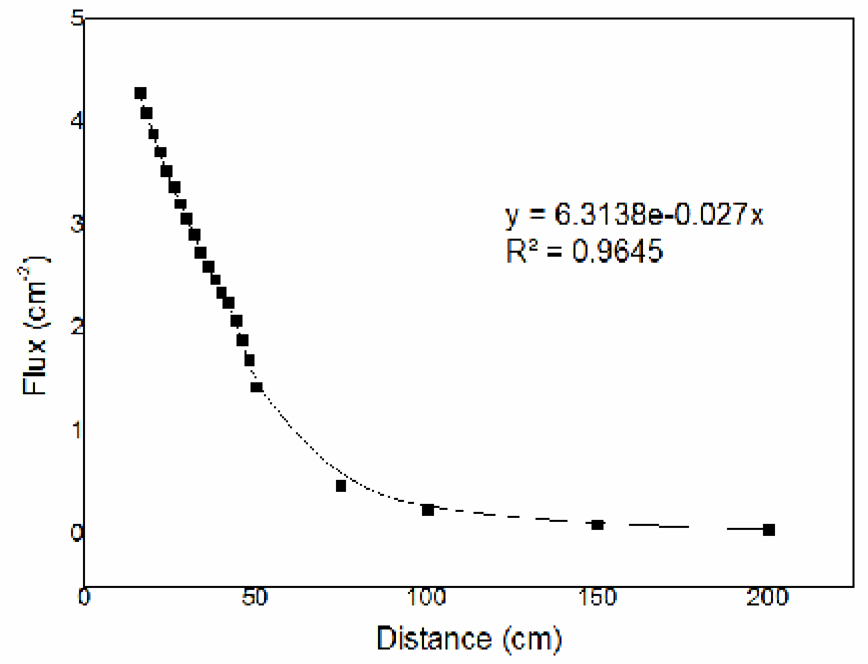
الشكل (**15.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(10cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage % Energy band (Mev)			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
24.50%	26.60%	48.90%	4.29E+00	16
24.50%	26.70%	48.80%	4.09E+00	18
24.50%	26.80%	48.70%	3.90E+00	20
24.60%	26.80%	48.60%	3.72E+00	22
24.60%	26.90%	48.50%	3.54E+00	24
24.60%	27.00%	48.40%	3.38E+00	26
24.70%	27.00%	48.30%	3.22E+00	28
24.70%	27.10%	48.20%	3.07E+00	30
27.70%	24.20%	48.10%	2.92E+00	32
24.80%	27.20%	48.00%	2.74E+00	34
24.80%	27.30%	47.90%	2.61E+00	36
24.80%	27.40%	47.80%	2.48E+00	38
24.90%	27.40%	47.70%	2.36E+00	40
24.90%	27.50%	47.60%	2.25E+00	42
24.90%	27.60%	47.50%	2.09E+00	44
25.00%	27.60%	47.40%	1.89E+00	46
25.00%	27.70%	47.30%	1.69E+00	48
25.10%	27.80%	47.10%	1.44E+00	50
27.40%	28.00%	44.60%	4.84E-01	75
28.70%	28.10%	43.20%	2.41E-01	100
30.50%	28.00%	41.50%	9.77E-02	150
32.20%	29.10%	38.70%	5.31E-02	200

الجدول (**12.4**)

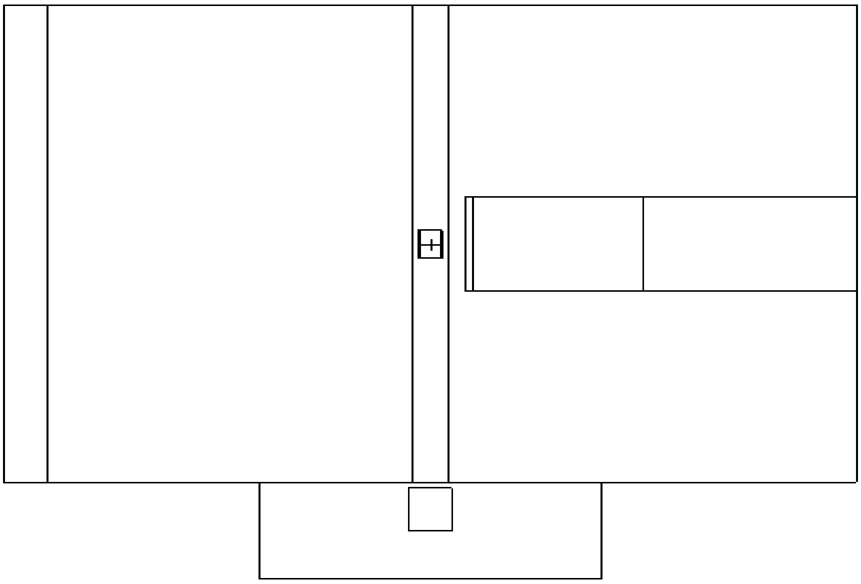
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**10cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**



الشكل (**16.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**10cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

4.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود MCNP-5C من شريحة برافين ذات سماكة 20cm:



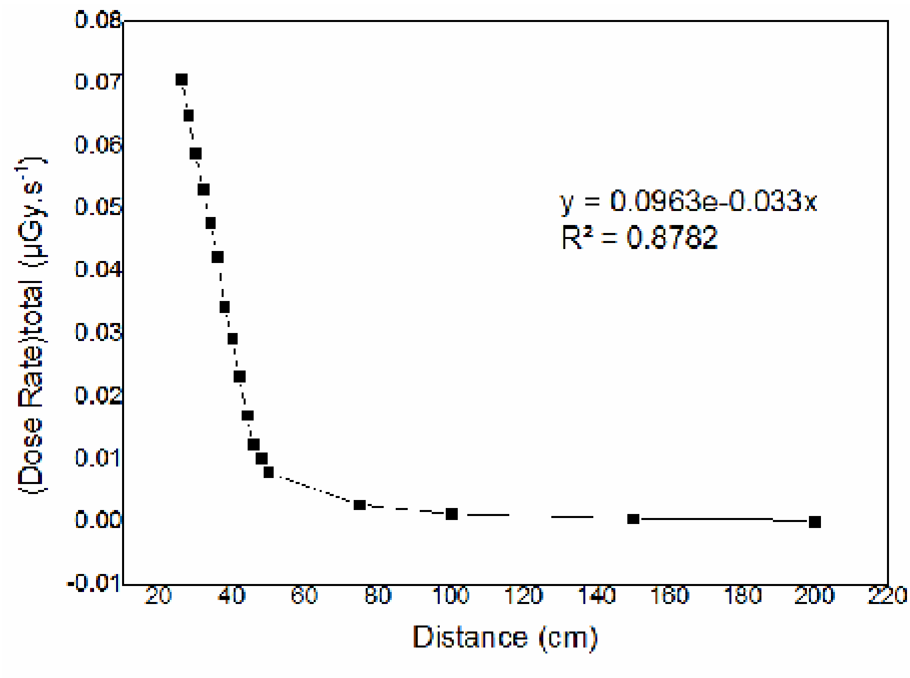
الشكل(17.4)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة(20cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

$(Dose\ Rate)_{total}$ ($\mu Gy.s^{-1}$)	(Dose Rate) ($\mu Gy.s^{-1}$)	$(Dose\ Rate)_{n}$ ($\mu Gy.s^{-1}$)	Distance(cm)
7.10E-02	3.60E-03	6.74E-02	26
6.52E-02	3.38E-03	6.18E-02	28
5.92E-02	3.17E-03	5.60E-02	30
5.33E-02	2.95E-03	5.03E-02	32
4.79E-02	2.73E-03	4.52E-02	34
4.26E-02	2.52E-03	4.01E-02	36
3.47E-02	2.30E-03	3.24E-02	38
2.94E-02	2.08E-03	2.73E-02	40
2.34E-02	1.87E-03	2.15E-02	42
1.73E-02	1.65E-03	1.56E-02	44
1.25E-02	1.43E-03	1.11E-02	46
1.04E-02	1.22E-03	9.16E-03	48
7.97E-03	1.02E-03	6.95E-03	50
2.81E-03	4.42E-04	2.37E-03	75
1.39E-03	2.45E-04	1.14E-03	100
5.61E-04	1.08E-04	4.53E-04	150
3.06E-04	6.02E-05	2.46E-04	200

الجدول (13.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(20cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



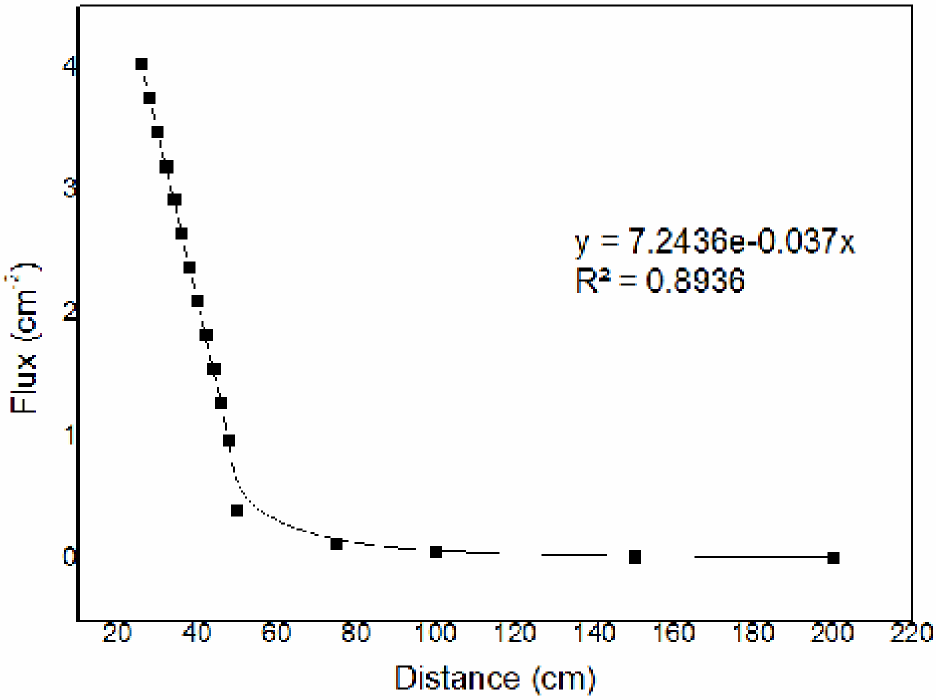
الشكل (**18.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**20cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

Flux Percentage %			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)				
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
31.70%	26.60%	41.70%	4.0339	26
31.80%	26.50%	41.70%	3.7588	28
31.80%	26.50%	41.70%	3.4837	30
31.90%	26.50%	41.60%	3.2086	32
31.90%	26.50%	41.60%	2.9335	34
32.00%	26.40%	41.60%	2.6584	36
32.10%	26.40%	41.50%	2.3833	38
32.20%	26.30%	41.50%	2.1082	40
32.30%	26.30%	41.40%	1.8331	42
32.30%	26.30%	41.40%	1.558	44
32.40%	26.30%	41.30%	1.2829	46
32.50%	26.30%	41.20%	0.9828	48
32.60%	26.30%	41.10%	0.4072	50
33.10%	26.40%	40.50%	0.1341	75
34.30%	26.80%	38.90%	0.0641	100
35.40%	27.90%	36.70%	0.0249	150
36.50%	29.60%	33.90%	0.0132	200

الجدول (**14.4**)

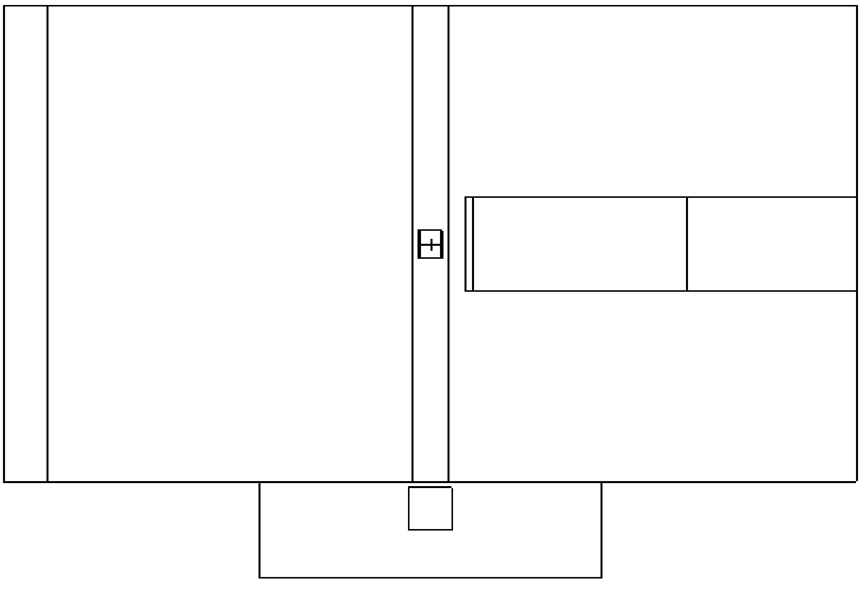
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**20cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**



الشكل (**19.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**20cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

5.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود **MCNP-5C** من شريحة برافين ذات سماكة **25cm**:



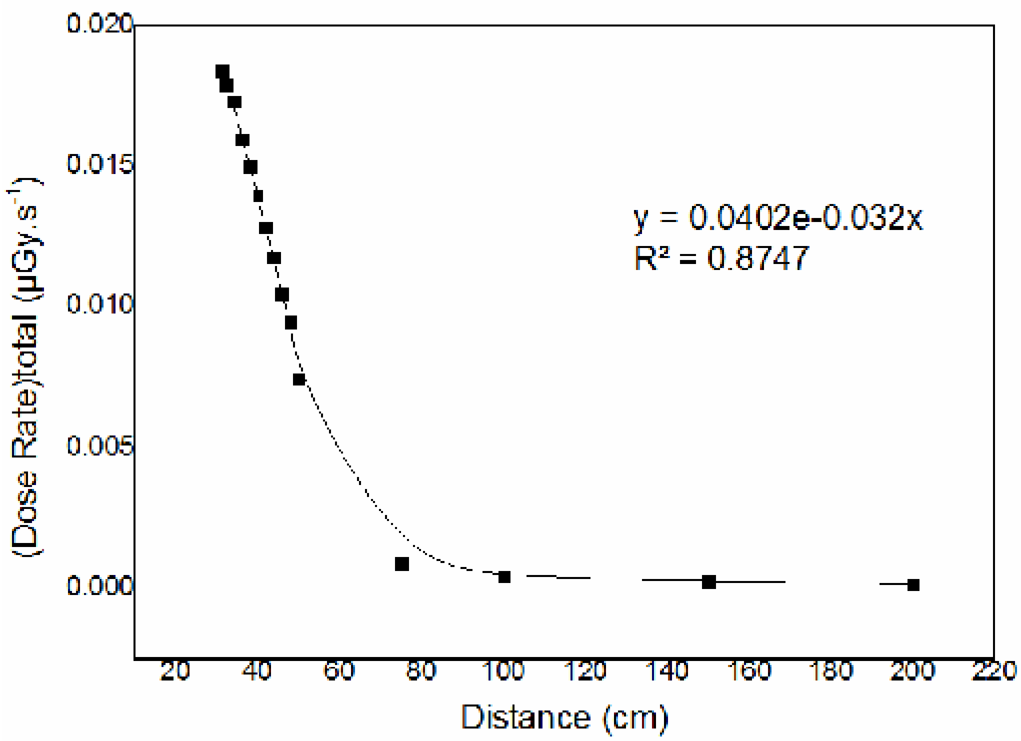
الشكل(**20.4**)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**25cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

(Dose Rate)$_{total}$ (µGy.s^{-1})	(Dose Rate) (µGy.s^{-1})	(Dose Rate)$_n$ (µGy.s^{-1})	Distance(cm)
1.84E-02	2.30E-03	1.61E-02	31
1.79E-02	2.23E-03	1.57E-02	32
1.73E-02	2.10E-03	1.52E-02	34
1.60E-02	1.96E-03	1.40E-02	36
1.50E-02	1.82E-03	1.32E-02	38
1.40E-02	1.68E-03	1.23E-02	40
1.28E-02	1.54E-03	1.13E-02	42
1.18E-02	1.40E-03	1.04E-02	44
1.05E-02	1.27E-03	9.19E-03	46
9.48E-03	1.13E-03	8.35E-03	48
7.44E-03	9.12E-04	6.53E-03	50
9.24E-04	3.92E-04	5.32E-04	75
4.24E-04	2.18E-04	2.06E-04	100
2.71E-04	9.52E-05	1.76E-04	150
1.69E-04	5.32E-05	1.16E-04	200

الجدول (15.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(25cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



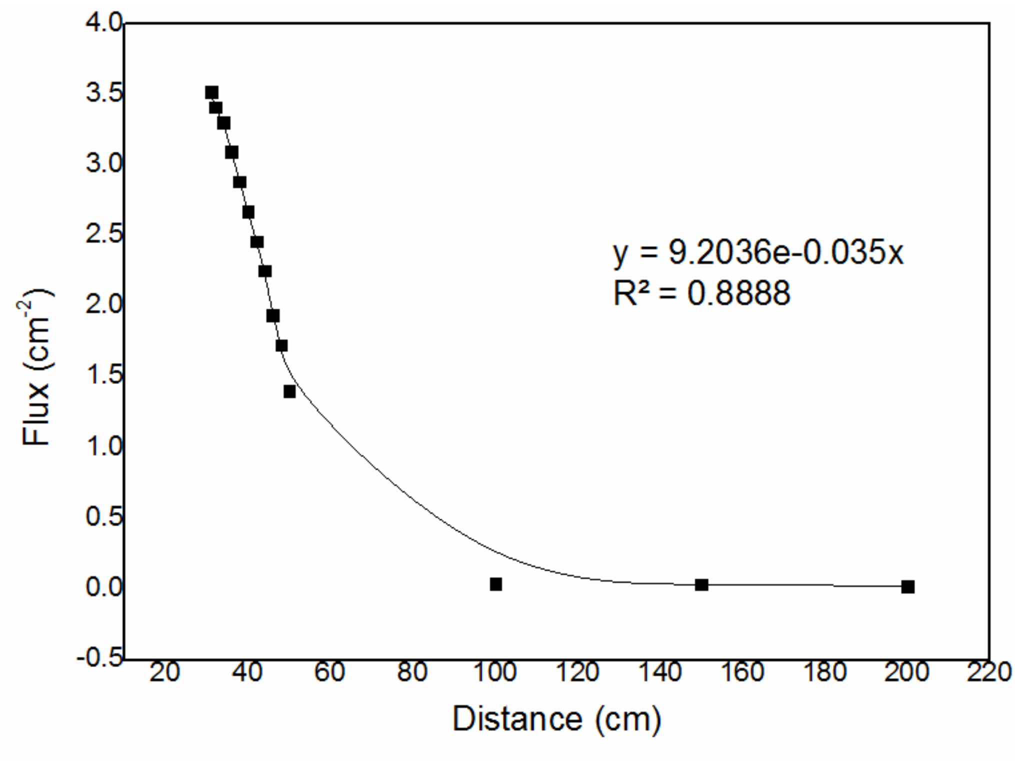
الشكل (21.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(25cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage % Energy band (Mev)			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
35.60%	26.60%	37.80%	3.519	31
35.63%	26.62%	37.75%	3.4135	32
35.66%	26.66%	37.68%	3.3079	34
35.72%	26.71%	37.57%	3.0968	36
35.78%	26.78%	37.44%	2.8857	38
35.84%	26.85%	37.31%	2.6746	40
35.90%	26.90%	37.20%	2.463	42
35.96%	26.96%	37.08%	2.2541	44
36.02%	27.08%	36.90%	1.9413	46
36.08%	27.17%	36.75%	1.7302	48
36.20%	27.20%	36.60%	1.4076	50
37.70%	27.00%	35.30%	1.112	75
38.30%	29.60%	32.10%	0.0425	100
39.10%	30.30%	30.60%	0.0358	150
40.60%	30.50%	28.90%	0.0229	200

الجدول (16.4)

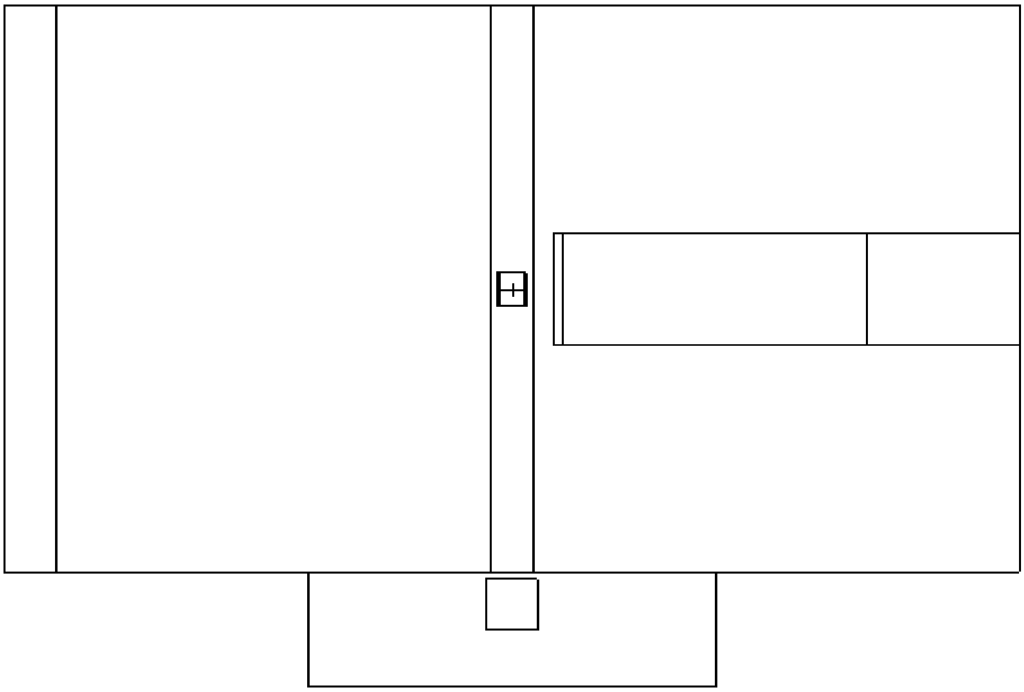
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(25cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C



الشكل (22.4)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(25cm) من البرافين باستخدام كود MCNP-5C

6.5.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع التشعيع باستخدام كود **MCNP-5C** من شريحة برافين ذات سماكة **30cm**:



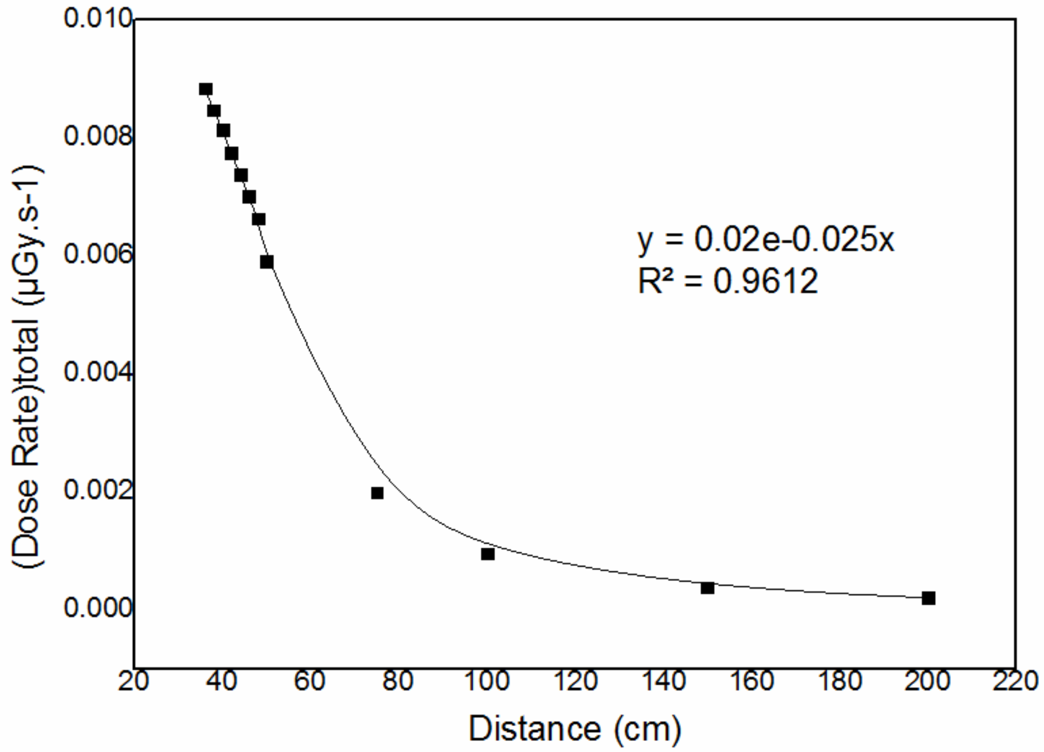
الشكل(**23.4**)

الحاوية عند وضع التشعيع من أجل سماكة (**30cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

(Dose Rate)$_{total}$ (µGy.s^{-1})	(Dose Rate) (µGy.s^{-1})	(Dose Rate)$_{n}$ (µGy.s^{-1})	Distance(cm)
8.84E-03	1.93E-03	6.91E-03	36
8.47E-03	1.82E-03	6.65E-03	38
8.13E-03	1.70E-03	6.43E-03	40
7.74E-03	1.58E-03	6.16E-03	42
7.38E-03	1.47E-03	5.91E-03	44
7.01E-03	1.35E-03	5.66E-03	46
6.63E-03	1.23E-03	5.40E-03	48
5.90E-03	1.01E-03	4.89E-03	50
1.99E-03	4.40E-04	1.55E-03	75
7.32E-03	2.45E-04	7.07E-03	100
2.82E-03	1.07E-04	2.71E-03	150
2.03E-04	5.98E-05	1.43E-04	200

الجدول (**17.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**30cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**



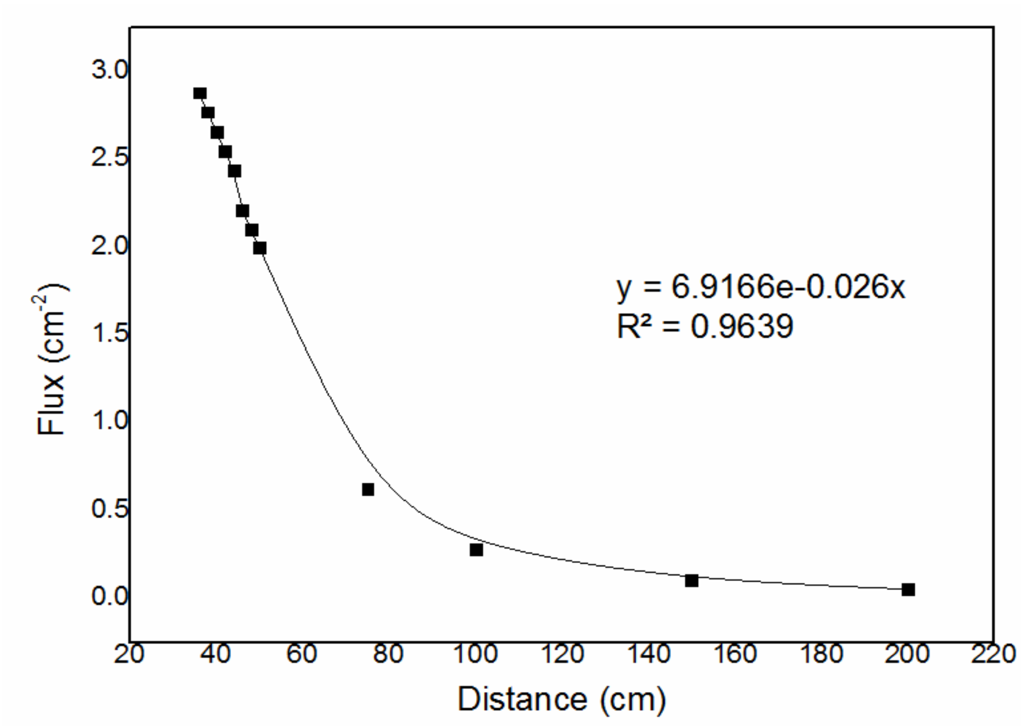
الشكل (**24.4**)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**30cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

Flux Percentage %			Flux (cm^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)				
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8		
40.80%	23.60%	35.60%	2.88E+00	36
40.90%	23.60%	35.50%	2.77E+00	38
41.00%	23.60%	35.40%	2.66E+00	40
41.10%	23.60%	35.30%	2.55E+00	42
41.20%	23.60%	35.20%	2.44E+00	44
41.40%	23.70%	34.90%	2.21E+00	46
41.60%	23.70%	34.70%	2.10E+00	48
41.80%	23.80%	34.40%	2.00E+00	50
42.60%	24.50%	32.90%	6.23E-01	75
43.20%	25.30%	31.50%	2.82E-01	100
45.10%	26.00%	28.90%	1.04E-01	150
46.50%	26.80%	26.70%	5.35E-02	200

الجدول (**18.4**)

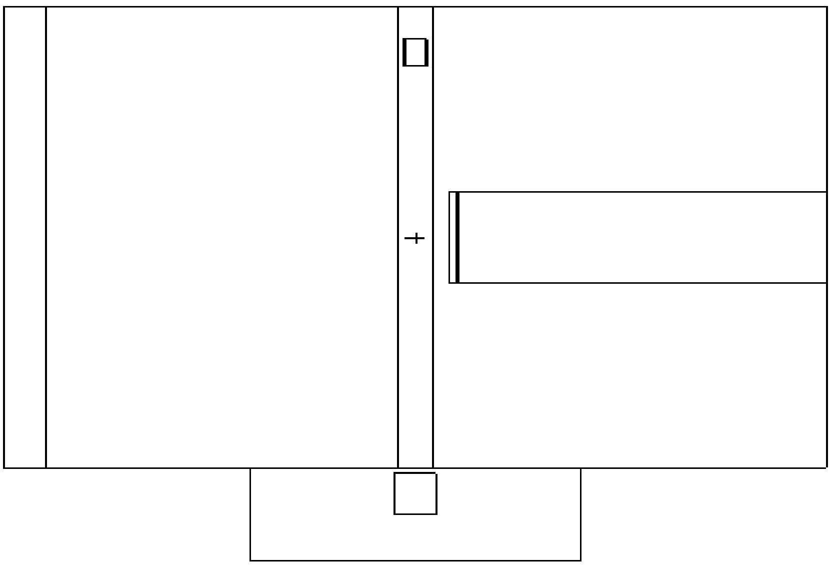
التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**30cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**



الشكل (**25.4**)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع التشعيع من أجل سماكة(**30cm**) من البرافين باستخدام كود **MCNP-5C**

6.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع الخطورة باستخدام كود MCNP-5C:



الشكل(**26.4**)

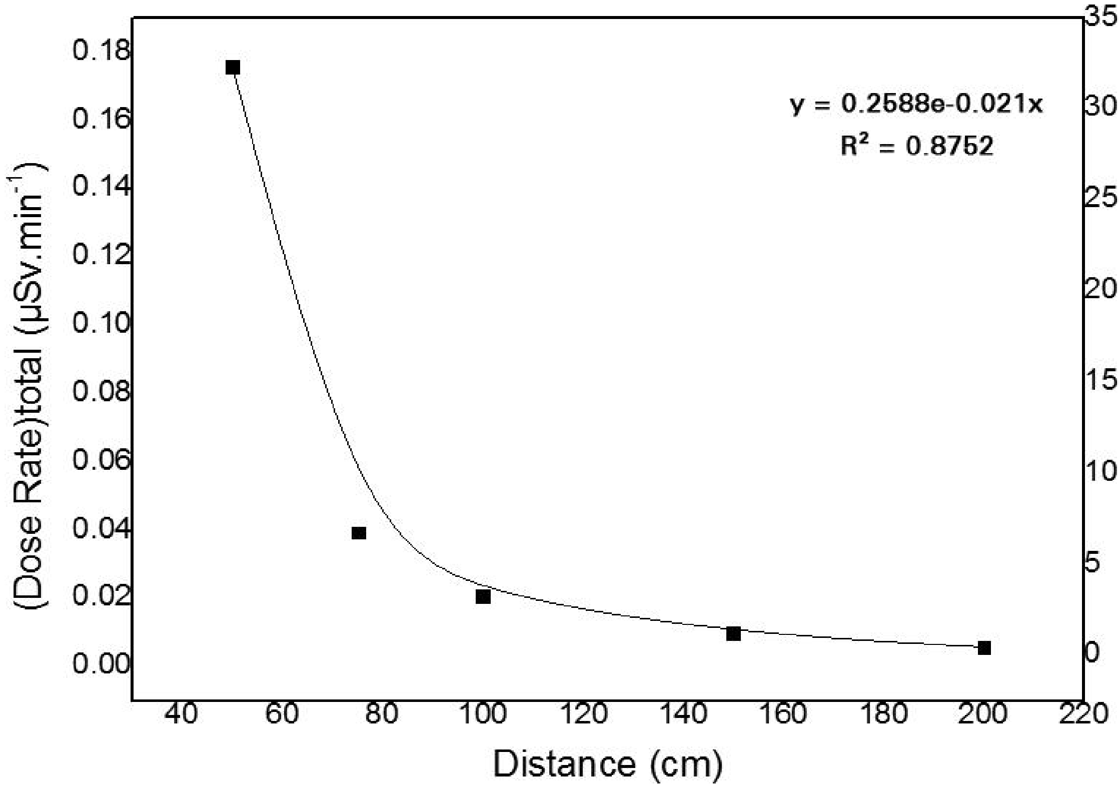
الحاوية عند وضع الخطورة باستخدام كود **MCNP-5C**

1.6.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع الخطورة وفق المحور (X) باستخدام كود MCNP-5C:

Error	(Dose Rate)$_{total}$ (μSv.min^{-1})	(Dose Rate) (μSv.min^{-1})	(Dose Rate)$_{n}$ (μSv.min^{-1})	Distance(cm)
1.40E-03	1.76E-01	2.95E-02	1.46E-01	50
2.10E-03	3.93E-02	1.31E-02	2.62E-02	75
1.10E-03	2.08E-02	8.53E-03	1.22E-02	100
1.90E-04	9.79E-03	4.19E-03	5.60E-03	150
2.00E-04	5.79E-03	2.43E-03	3.36E-03	200
3.10E-04	3.35E-03	2.15E-03	1.20E-03	-50
4.10E-04	3.90E-03	1.26E-03	2.64E-03	-75
3.60E-04	3.50E-03	8.20E-04	2.68E-03	-100
2.60E-04	1.97E-03	4.09E-04	1.56E-03	-150
1.80E-04	1.21E-03	2.39E-04	9.68E-04	-200

الجدول(19.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(X) باستخدام كود MCNP-5C



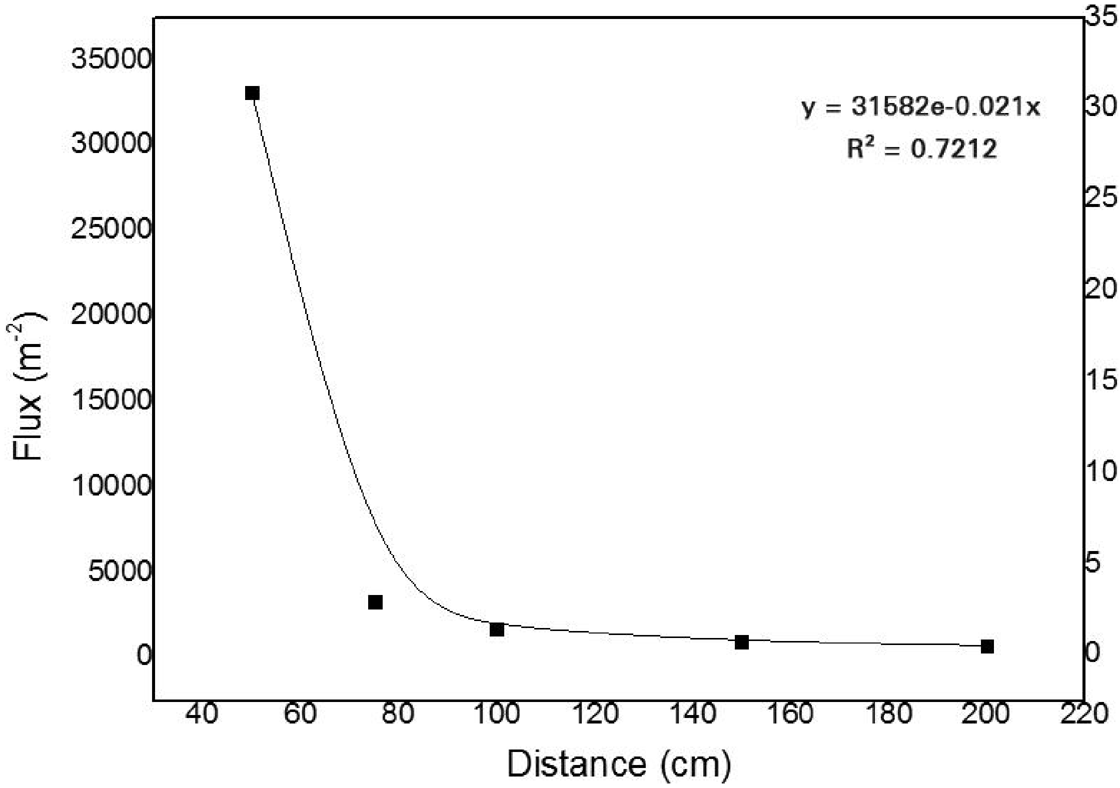
الشكل(27.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (X) باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
41.5	18.3	40.2	1.89%	33173	50
42.6	18.6	38.8	1.64%	3326	75
43.1	21	35.9	1.54%	1735	100
45.4	23.2	31.4	1.57%	986	150
46.3	25	28.7	1.46%	731	200

الجدول(**20.4**)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(X) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(**28.4**)

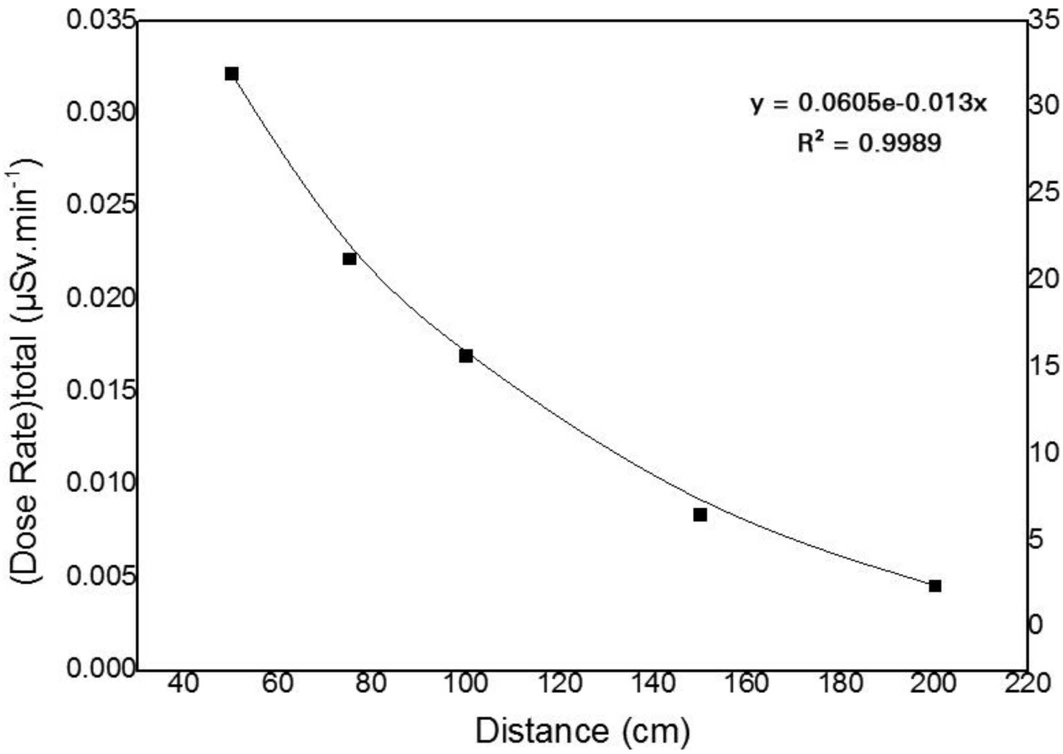
التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (X) باستخدام كود MCNP-5C

2.6.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع الخطورة وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C:

Error	$(Dose\ Rate)_{total}$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	(Dose Rate) ($\mu Sv.min^{-1}$)	$(Dose\ Rate)_n$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	Distance(cm)
1.30E-03	3.22E-02	1.95E-02	1.27E-02	50
2.10E-03	2.22E-02	1.30E-02	9.24E-03	75
1.80E-03	1.70E-02	8.53E-03	8.46E-03	100
1.10E-04	8.46E-03	4.22E-03	4.24E-03	150
4.10E-04	4.61E-03	2.45E-03	2.16E-03	200
2.30E-04	2.03E-02	E-021.91	E-031.18	-50
1.50E-03	1.88E-02	1.32E-02	5.60E-03	-75
2.60E-03	1.39E-02	8.63E-03	5.22E-03	-100
1.60E-04	7.49E-03	4.23E-03	3.26E-03	-150
1.40E-04	4.44E-03	2.45E-03	1.99E-03	-200

الجدول(21.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(Y) باستخدام كود MCNP-5C



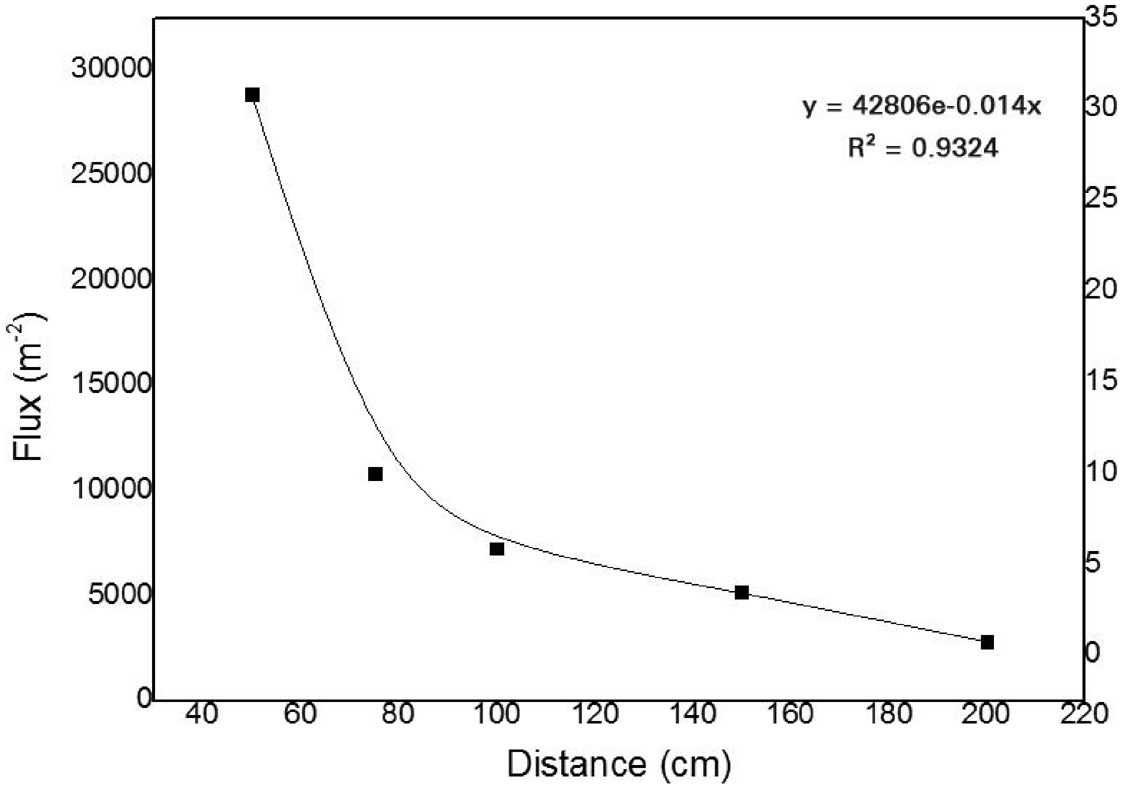
الشكل(29.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
35.2	39.9	24.9	8.60%	28881	50
37.1	39.7	23.2	4.96%	10856	75
39.5	38	22.5	3.38%	9969	100
41.7	37.9	20.4	2.73%	5171	150
43.3	39.5	17.2	2.54%	2806	200

الجدول(22.4)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(Y) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(30.4)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (Y) باستخدام كود MCNP-5C

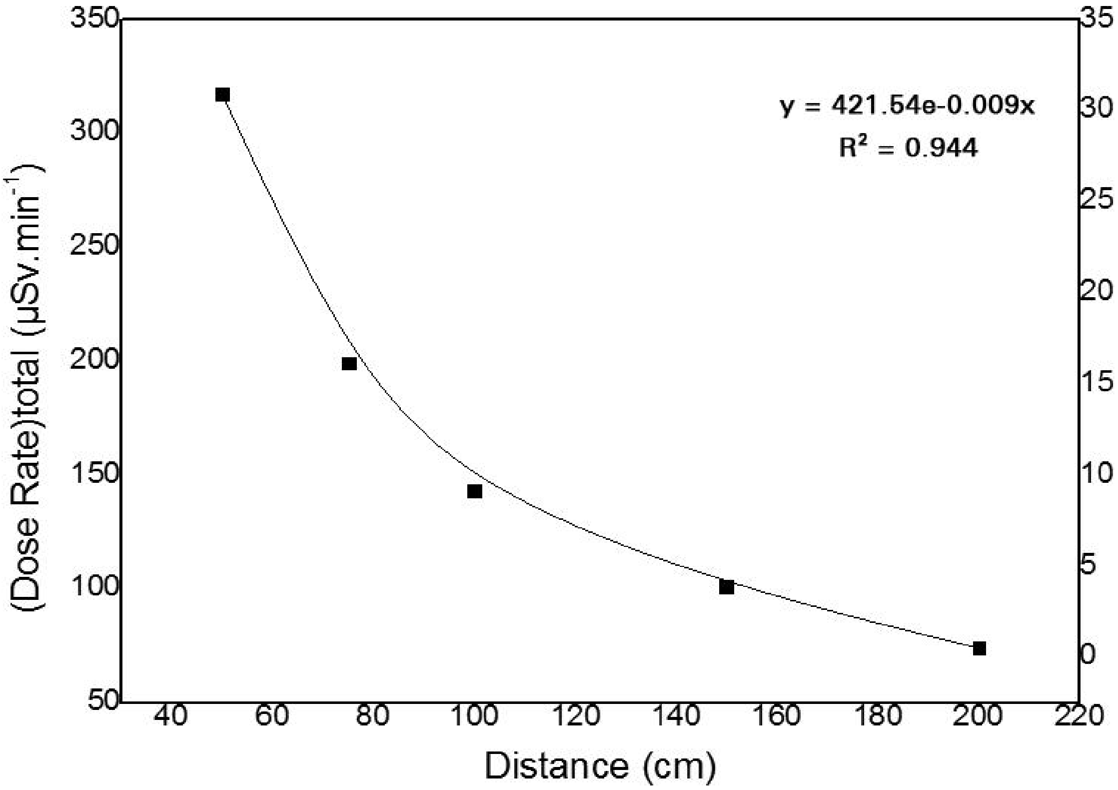
3.6.4. دراسة معدل الجرعة الإشعاعية لحاوية التشعيع النترونية الجديدة عند وضع الخطورة وفق المحور (Z) باستخدام كود MCNP-5C:

Error	$(\text{Dose Rate})_{total}$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	(Dose Rate) ($\mu Sv.min^{-1}$)	$(\text{Dose Rate})_{n}$ ($\mu Sv.min^{-1}$)	Distance(cm)
1.00E-02	3.17E+02	2.59E-01	3.17E+02	50
1.20E-02	1.99E+02	2.17E-01	1.99E+02	75
3.20E-02	1.43E+02	7.52E-02	1.43E+02	100
4.20E-02	1.01E+02	2.27E-02	1.01E+02	150
3.10E-02	7.40E+01	1.08E-02	7.40E+01	200

الجدول(23.4)

المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(Z)

باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(31.4)

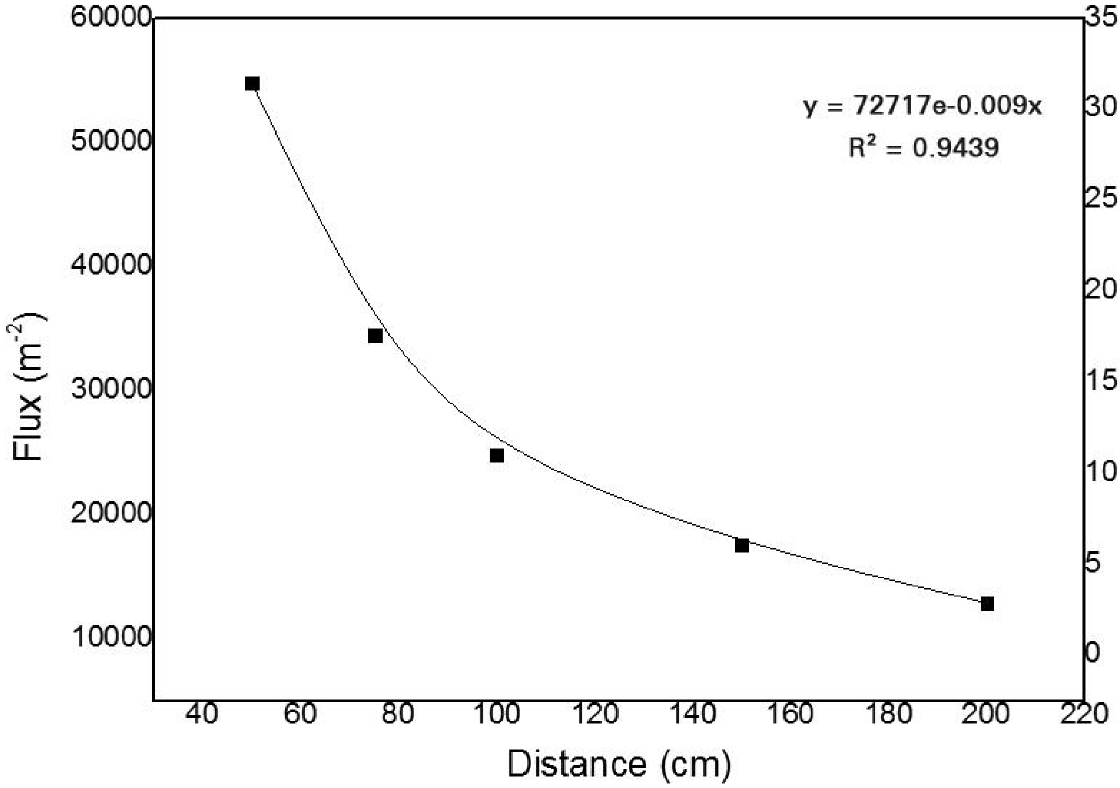
المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (Z)

باستخدام كود MCNP-5C

Flux Percentage %			Error(%)	Flux (m^{-2})	Distance(cm)
Energy band (Mev)					
1×10^{-9} 1×10^{-6}	1×10^{-6} 0.01	0.01 10.8			
13.9	20.9	65.2	1.15%	54823	50
14.6	22.7	62.7	1.41%	34515	75
16.2	23.5	60.3	1.32%	24830	100
18.4	24.5	57.1	1.26%	17564	150
21.5	24.7	53.8	1.24%	12897	200

الجدول(24.4)

التدفق الكلي للنترونات مقابل البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور(Z) باستخدام كود MCNP-5C



الشكل(32.4)

التدفق الكلي للنترونات بدلالة البعد عن المركز عند وضع الخطورة وفق المحور (Z) باستخدام كود MCNP-5C

7.4. النتائج:

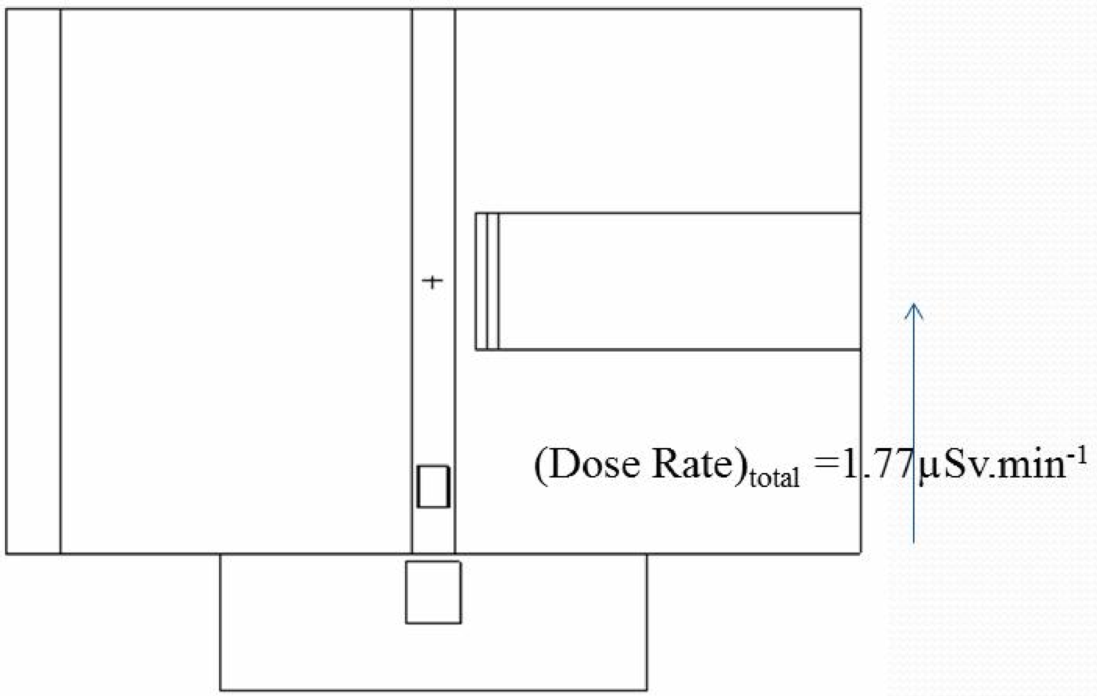
- **عند وضع التدريع**: نلاحظ عند دراسة المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع بدلالة البعد عن مركز الخزان أن أكبر قيمة للجرعة هي $0.133\mu Sv.min^{-1}$ بينما نجد أن حد الجرعة السنوي للعاملين هو $0.167\mu Sv.min^{-1}$ وهذا ما يجعل هذه الحاية مناسبة من حيث التدريع
- **عند وضع التشعيع**:

1- نلاحظ عند دراسة المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية الممتصة عند وضع التشعيع بدلالة البعد عن مركز الخزان وذلك من أجل سماكات مختلفة من شرائح البرافين أن قيمة الجرعة تتراوح ما بين $0.0084\mu Gy.s^{-1}$ و $1.4\mu Gy.s^{-1}$ **وبالتالي** تم الحصول على مجال واسع من الجرعات وذلك تم تجاوز مشكلة العدد المحدود من قنوات التشعيع في الحاوية السابقة.

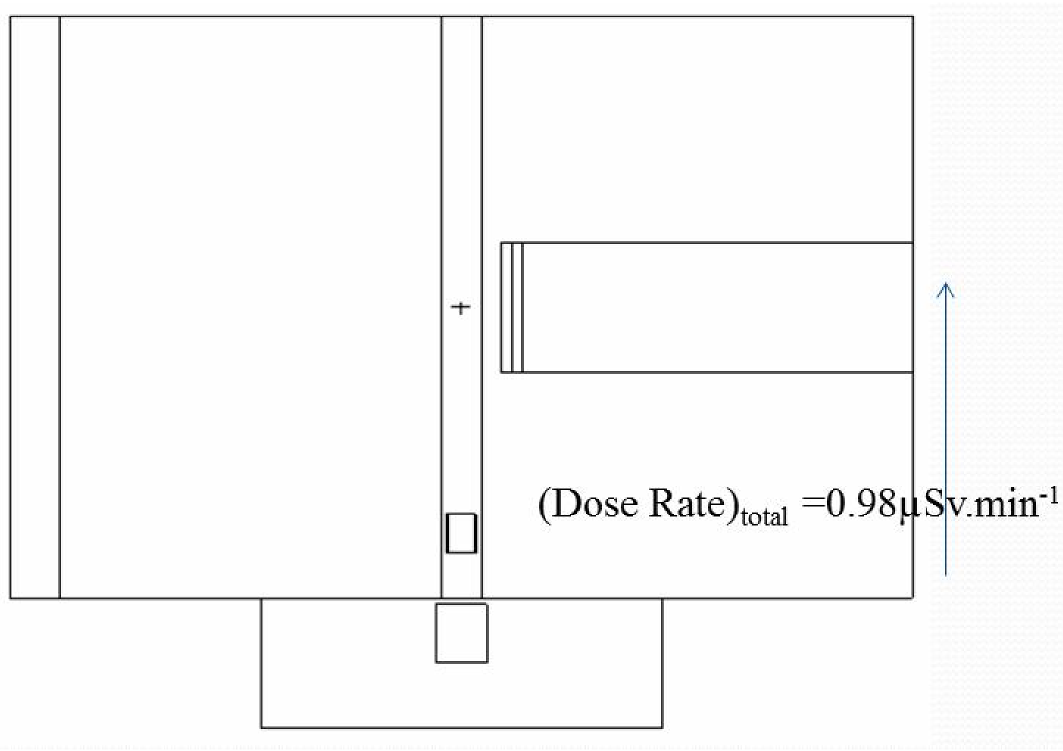
2- نلاحظ عند دراسة التدفقات النترونية بدلالة البعد عن مركز الخزان أن نسبة النترونات السريعة تتناقص بينما تزداد نسبة النترونات الحرارية وذلك بسبب وجود الماء ومادة البرافين الغنية بعنصر الهيدروجين الذي يعمل على تهدئة النترونات بشكل حاد.

- **عند وضع الخطورة**: نلاحظ عند دراسة المعدل الكلي للجرعة الإشعاعية عند وضع الخطورة بدلالة البعد عن مركز الخزان أن أكبر قيمة للجرعة هي $317\mu Sv.min^{-1}$ وهي قيمة كبيرة نسبية بالمقارنة بحد الجرعة السنوي للعاملين بالمجال الإشعاعي لذلك تم وضع حاجز لمنع خروج المنبع بالإضافة إلى ذلك تم تزويد الخزان من الخارج بمؤشر بهدف التنبيه كما يمكن رؤية المنبع من الجانب المقابل لقناة التشعيع بهدف معرفة مكان المنبع وبالتالي التنبه عند وضع الخطورة.
- من الملاحظ أن العلاقة بين التدفق الكلي للنترونات والبعد عن مركز الخزان علاقة آسية وهذا الأمر متوقع ومطابق لعلاقة توهين التدفق.
- كذلك الأمر بالنسبة لعلاقة معدل الجرعة الكلية والبعد عن مركز الخزان عبارة عن علاقة آسية أيضاً.
- بالنسبة للجرعة الناتجة عن نظير الأمريشيوم عند الطاقة 59.5Kev هي المسيطرة بالمقارنة مع باقي المركبات وذلك لأن المصدر يحوي 5 كوري من الأمريشيوم
- يجب الإشارة إلى أنه تم اقتراح عدد من الأشكال لتحقيق متطلبات الهدف من المشروع قبل الوصول إلى الشكل النهائي ولكن عند دراسة خصائص هذه الأشكال تم اكتشاف بعض القصور نذكر من هذه المقترحات مايلي:

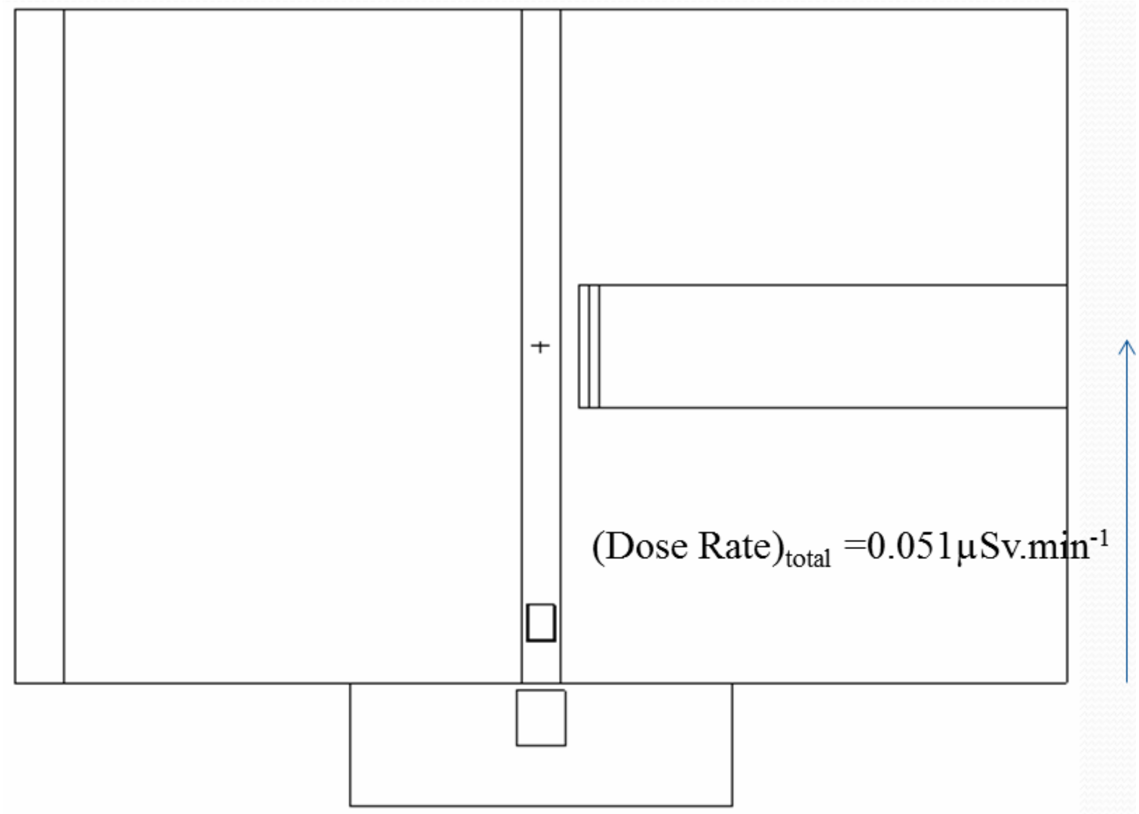
1. مكعب مملوءة بالماء العادي طول ضلعه 80cm وجدنا أن معدل الجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع $1.77\mu Sv.min^{-1}$ وهي كبيرة بالمقارنة بجرعة العاملين في المجال الإشعاعي



2. مكعب مملوء بالماء العادي طول ضلعه 90cm وجدنا أن معدل الجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع $0.98\mu Sv.min^{-1}$ وهي كبيرة بالمقارنة بجرعة العاملين في المجال الإشعاعي



3. مكعب مملوء بالماء العادي طول ضلعه 110cm وجدنا أن معدل الجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع $0.051\mu Sv.min^{-1}$ وهي صغيرة بالمقارنة بجرعة العاملين في المجال الإشعاعي ويمكن استخدامها في مجال التدريع ولكنها لا تعطي جرعات كبيرة عند وضع التشعيع نظراً لكمية الماء الكبيرة الموجودة فيها



4. مكعب مملوءة بالماء الثقيل طول ضلعه 100cm وجدنا أن معدل الجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع $0.174\mu Sv.min^{-1}$ وهي كبيرة بالمقارنة بجرعة العاملين في المجال الإشعاعي وبالتالي عند هذه الأبعاد لا يمكن استخدام الماء الثقيل على الرغم من أن كثافة الماء الثقيل أعلى من كثافة الماء العادي إلا أن معامل التناقص اللغاريتمي للماء الثقيل أقل من معامل التناقص اللغاريتمي للماء العادي.

$$\square_{H2o}=1$$
$$\square_{D2o}=0.725$$

5. مكعب مملوء بالبارافين طول ضلعه 100cm وجدنا أن معدل الجرعة الإشعاعية عند وضع التدريع $0.164\mu Sv.min^{-1}$ وهي صغيرة بالمقارنة بجرعة العاملين في المجال الإشعاعي لكنها كبيرة بالحجم وبالتالي لم يتم تجاوز مشكلة الحجم الكبير للحاوية السابقة.

الفصل الخامس
الخاتمة والتوصيات

1.5. الخاتمة:

تم في هذه الدراسة اقتراح شكل جديد لحاوية التدريع النترونية والاستفادة منها في حالة التشعيع، كما تم تجاوز مشكلة الحجم الكبير للحاوية السابقة، بالإضافة إلى العدد المحدود لقنوات التشعيع.

2.5. التوصيات:

يمكن تصميم الشكل المقترح والتحقق من النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام كود MCNP-5C وذلك عند دراسة الجرعة عند نفس النقاط التي قد درسناها نظريا.

صفحة بياض

الملحق (A)

طيف مصدر الـــ Am-Be طبقاً لـــ ISO

الجدول 1

طيف النترونات الصادر عن مصدر Am^{241}-Be^{9}. [E8]

Energy(Mev)	Strength(s^{-1})	Energy(Mev)	Strength(s^{-1})
4.14E-01	1.44E-02	5.47E+00	2.33E-02
1.10E-01	3.34E-02	5.68E+00	2.06E-02
3.30E-01	3.13E-02	5.89E+00	1.82E-02
5.40E-01	2.81E-02	6.11E+00	1.77E-02
7.50E-01	2.50E-02	6.32E+00	2.04E-02
9.70E-01	1.40E-02	6.54E+00	1.83E-02
1.18E+00	1.98E-02	6.75E+00	1.63E-02
1.40E+00	1.75E-02	6.96E+00	1.68E-02
1.61E+00	1.92E-02	7.18E+00	1.68E-02
1.82E+00	2.23E-02	7.39E+00	1.88E-02
2.04E+00	2.15E-02	7.61E+00	1.84E-02
2.25E+00	2.25E-02	7.82E+00	6.90E-02
2.47E+00	2.28E-02	8.03E+00	1.44E-02
2.68E+00	2.95E-02	8.25E+00	9.68E-03
2.90E+00	3.56E-02	8.46E+00	6.52E-03
3.11E+00	3.69E-02	8.68E+00	4.26E-03
3.32E+00	3.46E-02	8.89E+00	3.67E-03
3.54E+00	3.07E-02	9.11E+00	3.81E-03
3.75E+00	3.00E-02	9.32E+00	5.06E-03
3.97E+00	2.69E-02	9.53E+00	6.25E-03
4.18E+00	2.86E-02	9.75E+00	5.52E-03
4.39E+00	3.18E-02	9.96E+00	4.68E-03
4.61E+00	3.07E-02	1.02E+01	3.70E-03
4.82E+00	3.33E-02	1.04E+01	2.78E-03
5.04E+00	3.04E-02	1.06E+01	1.51E-03
5.25E+00	2.74E-02	1.08E+01	3.63E-04

صفحة بياض

الملحق (B)

جزء من ملف الدخل لحاوية التشعيع النترونية عند وضع التدريع

```
c **************surface ***********************
c *************tank**************
   1       px        50
   2       px       -50
   3       py       -50
   4       py        50
   5       pz        50
   6       pz       -50
c ************** irradiation channel out**************
   7       px         4
   8       pz        10
   9       pz       -10
  10        py        10
  11        py       -10
c ************** irradiation channel inner**************
  25        cz         2
  50        pz     49.99
  60        pz    -49.99
c ************ source Am/be channel **************
  12        cz         2
c ************ source Am/be  **************
  13        cz       1.33
  14        cz       1.5
  15        pz         3
  16        pz        -3
  17        pz       2.99
  18        pz      -2.99
c ************ out sourse place  **************
  19        cz        20
  20        pz       -70
  21        cz       2.5
  22        pz       -60
```

```
  23       pz       -51
  31       so       600
  32       px        5
c *********** prespex  *************
  33       py        2
  34       py       -2
  24       px       -45
 100       px       5.1

mode  n
m1    4009.            -0.7 $Be
m2    1001.60c          0.67 $h2o
      8016.c          0.33
m3    7014.            -0.755 $Air dray
      8016.           -0.232 18000.         -0.013
m4    1001.60c          0.67 $Pparafin ch2
      6012.50c         0.33
c -------------------------- Stainless steel --------------------------------
m5    26057.60c      -0.6988 $MAT
      22000.60c        -0.01 28058.60c       -0.105 6000.60c       -0.0012
      24050.60c       -0.185
m6    82000.             1 $Pb
m7    48000.             1 $Cd
m8    47107.             1 $Ag silver
c -------------------------- px --------------------------------
m9    1001.           -0.057 $MAT
      7014.           -0.254 6000.         -0.6991
imp:n  1          9r          0           1           1r         $ 1, 13
sdef  erg=d1    pos= 0 0 0 cel=5 WGT=1E+7
si1 4.14e-7 0.11 0.33 0.54 0.75 0.97 1.18 1.4 1.61 1.82 2.04 2.25 2.47
    2.68 2.90 3.11 3.32 3.54 3.75 3.97 4.18 4.39 4.61 4.82 5.04 5.25
    5.47 5.68 5.89 6.11 6.32 6.54 6.75 6.96 7.18 7.39 7.61 7.82 8.03
    8.25 8.46 8.68 8.89 9.11 9.32 9.53 9.75 9.96 10.18 10.39 10.60
    10.82 11.03 11.09
sp1 0.00 1.44e-2 3.34e-2 3.13e-2 2.81e-2 2.5e-2 2.14e-2 1.98e-2 1.75e-2
    1.93e-2 2.23e-2 2.15e-2 2.25e-2 2.28e-2 2.95e-2 3.56e-2 3.69e-2
    3.46e-2 3.75e-2 3.00e-2 2.69e-2 2.86e-2 3.18e-2 3.07e-2 3.33e-2
    3.04e-2 2.74e-2 2.33e-2 2.06e-2 1.82e-2 1.77e-2 2.04e-2 1.83e-2
    1.63e-2 1.68e-2 1.68e-2 1.88e-2 1.84e-2 1.69e-2 1.44e-2 9.68e-3
    6.52e-3 4.26e-3 3.67e-3 3.81e-3 5.06e-3 6.25e-3 5.52e-3 4.68e-3
    3.70e-3 2.78e-3 1.51e-3 3.63e-4 0.00
c ==================================
f15:n 6 0 0 0 50 0 0 0 75 0 0 0 100 0 0 0 150 0 0 0 200 0 0 0
e15 2.5e-8 0.01 0.1 0.5 1 2 5 10 15 20 25
de15 Lin 2.5e-8 1e-7 1e-6 1e-5 1e-4 1e-3 1e-2 1e-1 5e-1 1 2 5 10 20
df15 Lin 2.79e-8 3.47e-8 3.79e-8 3.62e-8 3.47e-8 3.08e-8 2.97e-8 4.68e-8
      1.08e-7 1.86e-7 2.56e-7 3.14e-7 3.60e-7 4.28e-7
```

المراجع

المراجع العربية:

[A1] د. بيداء الأشقر،''تفاعل الإشعاع مع المادة،''محاضرات ماجستير الوقاية الإشعاعية،2012-2013.

[A2] د. ماجدة نحيلي،''الكواشف الإشعاعية،''محاضرات ماجستير الوقاية الإشعاعية،2012-2013.

[A3] د. عبد القادر بيطار،''كميات وواحدت قياس الجرعة،''محاضرات ماجستير الوقاية الإشعاعية،2012-2013.

[A4] محمد مفتاح دموم،''مشروع تخرج لنيل درجة الماجستير في الوقاية الإشعاعية وأمان المصادر المشعة وأمنها،2009.

المراجع الأجنبية:

[E1] Kenneth S.Krane, "introductory Nuclear Physics", John Wiley & Sons, 1988.

[E2] Glenn F.Knoll, "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, third edition, 2000.

[E3] James E.Tuner, "Atoms, Radiation, and Radiation Protection", John Wiley & Sons, second edition, 1995.

[E4] MIT-22.05, "Neutron Science and Reactor Physics", Fall, 2006.

[E5] MIT-22.101, "Applied Nuclear Physics", Fall, 2006.

[E6] ICRP Publication 74, 1995.

[E7] ICRP Publication 103, 2007.

[E8] ISO 8529-1, Reference Neutron Radiation - part 1, 1999.

[E9] A.Klett and B.Burgkhardt, "the new Remcounter LB6411: Measurements of Neutron Ambient Dose Equivalent H*(10)

صفحة بياض