Journal of Humanitarian and Applied Sciences - مجلة العلوم الإنسانية والتطبيقية
(رقم الإيداع المحلي 95 / 2020) - (ISSN: 2706- 9087) - (معامل التأثير العربي شهادة رقم: 472 - 2020)
كلية الآداب والعلوم قصر الأخيار - جـامعة المرقب
Volume 8 – Issue 15 المجلد 8 العدد 15

مدخل إلى برنامج محاكاة انتقال الإشعاعات النووية MCNP

أ.حسن عبدالله محمد منصور Hassn A.M. Mansour

E-mail: hamansour@elmergib.edu.ly

جامعة المرقب / كلية الآداب والعلوم قصر الأخيار – قسم الفيزياء

Elmergib University Faculty of Arts and Sciences Gasr Khiar-Physics Department

Received: 22/04/2023	Accepted:10/05/2023

Abstract:

This research paper gives a brief overview with regard to utilizing MCNP coding software which is an important program in the field of radiometric instrumentation and modelling. This type of software is based on Monte Carlo calculation method so as to have the ability to simulate process a full simulation to nuclear radiations from a simple project such as a point isotopic source with a cylindrical radiation detector to a project as complicated as a lung tissue stopping power for a modified phantom or even full simulation to a nuclear reactor.

Keywords: MCNP, Los Alamos National Laboratory, Radiometrics, Modelling, Simulation, Nuclear Radiation.

الملخص

هذا البحث يعطي لمحة مبدئية عن كيفية استخدام برنامج محاكاة انتقال وتفاعل الإشعاعات النووية MCNP المؤسس بالاعتماد على طريقة مونتي كارلو للإحصاء العشوائي وهذا البرنامج مفيد جداً للمهتمين بدراسة الفيزياء الإشعاعية. ولهذا النوع من البرامج القدرة على محاكاة كاملة لعمليات إنتقال الأشعة النووية من البسيطة منها كمصدر أشعة نقطي وكاشف إشعاع إسطواني إلى العمليات الأكثر تعقيدا مثل تقدير قدرة الإيقاف لنسيج حي بواسطة أشعة معدلة أو حتى المقدرة على محاكاة مفاعل نووي بالكامل.

الكلمات المفتاحية: برنامج MCNP، المختبر الوطني – لوس الاموس، الفيزياء الإشعاعية، محاكاة الأشعة النووية، الأشعة النووية.

1. المقدمة

طوِّر برنامج MCNP بواسطة المعمل الوطني في لوس الاموس LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY ويستخدم هذا البرنامج لمحاكاة مسارات الأشعة النووية كالنيوترونات أو حتى الأشعة الكهرومغناطيسية مثل أشعة جاما ومنها أشتق الحرفين الأخيرين في الإسم (NEUTRAL PARTICALS = NP) ولأن البرنامج يستخدم طريقة مونتي كارلو في خوارزمياته أشتق الحرفين الأول والثاني منه (MONTE CARLO = MC) ويعتمد برنامج MCNP على مكتبة إلكترونية نووية مدمجة من قبل مصممي البرنامج.

وتحاكي هذه الشفرة إنتقال مسارات الأشعة النووية المنبعثة من العناصر المشعة (الأولية primary) وكذلك الأشعة (الثانوية secondary) الناتجة عن طريق تفاعل الأشعة الأولية مع العناصر التي تعترض طريقها.

ولهذا البرنامج تطبيقات عديدة منها:

- يستخدم في مجال التعليم في المعامل الخاصة بالفيزياء الإشعاعية لكونه أكثر أماناً للطلاب مقارنة بالتعامل المباشر مع المصادر المشعة بالإمكان الحصول منه على نفس المحصلة التعليمية.
- يستخدم في مجال الصناعة فيمكن مثلاً تحسين عمل مفاعل نووي وجعله أكثر أماناً وكذلك تطوير بعض الصناعات الأخرى كتحسين عملية بناء بطارية نووية والتي تعد من المجالات السلمية للطاقة النووية (Hosein (Moayedi,et al,2022) & (Brown Forrest,et al,2012.
- يستخدم في مجال الصحة فيمكن إجراء التجارب الخاصة بالعلاج بالإشعاع النووي للحصول على أفضل جرعة لأي عضو من جسم المريض بدون تعريضه لجرعات عشوائية بدون دراسة (Olaseni,2020) & (D.Razaei,et al,2011).

2. تنصيب البرنامج:

كان أول إصدار لبرنامج MCNP في عام 1978 م آخر تحديث للبرنامج هو النسخة MCNP6.3 أطلقت عام 2022 م و يحتوي هذا الإصدارعلى كم هائل من مكتبات بلغة البرمجة (C++ software) بالإضافة إلى (Python 2&3 software) بذاكرة حوالي 12 جيجا بايت ويمكن تنصيبه على نظام ويندوز وماك ولينكس ويحتاج لتشغيله لحاسوب بمواصفات جيدة من ناحية المعالج و كذلك سعة الرام لأن بعض الشفرات تحتاج لوقت طويل للتشغيل (Joel.A.Kulesza,et al,2022).

3. مكونات البرنامج:

3.1 ملف الإدخال:

يعمل برنامج MCNP بواسطة مفاتيح أو أوامر تعمل على نافذة Command Promptعلى جهاز الحاسوب فمثلاً الأمر التالي:

Mcnp ixrz n=sample

سيشغل برنامج MCNPعلى ملف يسمى sample يستعمل الخيارات (ixrz) و سينتج بذلك ملف مخرجات OUTPUT FILE يحتوي على نتائج التشغيل و سيكون أسمه هنا (sampleO) بنفس إسم ملف الإدخال مضافاً إلى آخره الحرف الإنجليزي O بالإضافة إلى ذلك سينتج ملف العينة (file sampler) و يحتوي الأخير على كافّة البيانات الناتجة عن التشغيل و يمكن إستخدامه لاحقاً لمتابعة التشغيل أو رسم النتائج لتفحصها بشكل أدق (J.Kenneth,et al,2005). والجدول رقم (1) يوضح بعض الأوامر الشائعة الإستعمال.

جدول رقم (1) يبين بعض الأوامر المستخدمة ف برنامج MCNP

الرمز	العملية
i	إجراء عملية ملف إدخال
p	رسم هندسي
x	مقطع عرضي
r	إنتقال جسيم
z	رسم المحصلة

الخيارات (ixrz) تستعمل في الملفات التامة بحيث أنه ستتم معالجة الملف وتصحيحه من الأخطاء وتجري عمليات المقاطع العرضية ليبدأ بعدها مسار إنتقال الجسيم. وتستعمل الخيارات (ip) لفحص الأشكال الهندسية المستخدمة بحيث أنه يتم فحص ملف الإدخال وتوضيح الأخطاء الموجودة فيه ومن تم رسم الأشكال الهندسية (A.Boston,2000).

ولتسمية ملف الإدخال في برنامج MCNP يجب أن:

- لا يتجاوز الأسم 7 (حروف+أرقام).
- عدم تكرار الأسماء و إمتداداتها فمثلا الملف (samlpe) إمتداداته هي (sampleO – sampler) يجب أن لا تكون موجودة عند تسمية الملف و إلا سيظهر خطأ في الإسم.

3.2 بنية ملف الإدخال

يتكون ملف الإدخال من:

- العنوان The card title
- الخلايا cell cards
- سطر خالي محدد blank line delimiter
- الأسطح surface cards
- سطر خالي محدد blank line delimiter
- البيانات data cards
- سطر خالي محدد blank line delimiter

تجدر الإشارة هنا إلى أن أقصى طول لسطر في ملف الأدخال هو 80 رقم أو حرف ويمكن التمديد بإضافة العلامة (&) في النهاية. ولتسهيل قراءة ملف الإدخال تتم إضافة أسطر وتعليقات تشرح كل جزء على حده حيث تتم إضافة الحرف (c) متبوعاً بمسافة لكي يتجاهل برنامج MCNPهذا السطر ويعتبره تعليقاً وكذلك في الأسطر التي توجد فيها أوامر يمكن إضافة تعليقات وذلك بكتابة مسافة وبعدها الأشارة ($) متبوعة بمسافة أخرى فيتم تجاهل ما بعد العلامة من قبل برنامج MCNPويعامل على أنه تعليق (J.Kenneth,et al,2005).

3.3 مفاهيم أساسية

لكتابة برنامج إدخال يجب فهم الأتي:

- هندسة الأسطح والخلايا Geometry of cells and surfaces
- تعرف الأسطح surface definition
- المحصلة tallies
- تعريف المواد material definition

حيث أن كل واحد من هذه الأجزاء ينبغي تعريفه بسلسلة من الأوامر commands تعرف بالبطاقات cards

- **هندسة الأسطح**

يستخدم برنامج MCNP مجموعة من الأسطح المستوية و الكروية و الأسطوانية لتبسيط الشكل الهندسي المراد محاكاته، بعض الأوامر الخاصة لبعض الأسطح المتاحة على البرنامج موضحة في الجدول رقم (2) (A.Boston,2000).

جدول رقم (2) يبين بعض الأوامر الخاصة لبعض الأسطح المتاحة على برنامج MCNP (J.Kenneth,et al,2005).

الأمر المدخل	الشكل الهندسي	نوعه	معادلته	المعاملات المدخلة
P	Plane مستوى	بصورة عامة	$Ax+By+Cz=D$	A,B,C ,D
Px		عمودي على محور x	$X=D$	D
Py		عمودي على محور y	$Y=D$	D
Pz		عمودي على محور z	$Z=D$	D
SO	Sphere كرة	مركزها نقطة الأصل	$x^2+y^2+z^2=R^2$	R
S		بصورة عامة	$(X-x)^2+(Y-y)^2+(Z-z)^2=R^2$	x,y,z, R
Sx		مركزها على محور x	$(X-x)^2+(Y)^2+(Z)^2=R^2$	x,R
Sy		مركزها علة محور y	$(X)^2+(Y-y)^2+(Z)^2=R^2$	y,R
Sz		مركزها على محور z	$(X)^2+(Y)^2+(Z-z)^2=R^2$	z,R
C/x	Cylinder إسطوانة	محورها موازي لمحور x	$(Y-y)^2+(Z-z)^2=R^2$	y,z,R
C/y		محورها موازي لمحور y	$(X-x)^2+(Z-z)^2=R^2$	x,z,R
C/z		محورها موازي لمحور z	$(X-x)^2+(Y-y)^2=R^2$	x,y,R
Cx		موضوعة على محور x	$y^2+z^2=R^2$	R
Cy		موضوعة على محور y	$x^2+z^2=R^2$	R
Cz		موضوعة على محور z	$x^2+y^2=R^2$	R
K/x	مخروط cone	موازي لمحور x	$\sqrt{(Y-y)^2+(Z-z)^2}=t(X-x)$	x,y,z,t
K/y		موازي لمحورy	$\sqrt{(X-x)^2+(Z-z)^2}=t(Y-y)$	x,y,z,t
K/z		موازي لمحورz	$\sqrt{(X-x)^2+(Y-y)^2}=t(Z-z)$	x,y,z,t
Kx		موضوع على محور x	$\sqrt{(Y)^2+(Z)^2}=t(X-x)$	x,t
Ky		موضوع على محور y	$\sqrt{(X)^2+(Z)^2}=t(Y-y)$	y,t
Kz		موضوع على محور z	$\sqrt{(X)^2+(Y)^2}=t(Z-z)$	z,t

بالإضافة إلى ذلك توجد بعض الأسطح أكثر تعقيدا يمكن الإطلاع عليها في الكاتالوج الخاص بالبرنامج MCNP user manual

وصيغة بطاقة السطح تكون بالترتيب التالي:

J (n) a (list)

حيث أن:

(j) هي رقم السطح بحيث يميز كل سطح رقم معين خاص به.

(n) تستخدم لتحويل الإحداثيات.

(a) معادلة.

(list) المعاملات المستعملة لتعريف معادلات الأسطح.

فعلى سبيل المثال:

4 py 5

يصف مستوى رقم 4 عمودي على محور Y عندما(Y=5).

و كمثال آخر:

2 c/y -10 0 2.5

و هذا المثال يصف إسطوانة نصف قطرها (2.5 cm) رقمها (2) موضوعة على محور y عند النقطة (x=10) و يمكن إضافة تعليق كالتالي:

3 c/z 5 6 10 $ سطح إسطواني موازي لمحور z

و هذا الأمر يصف سطحاً إسطوانياً رقمه 3 لا نهائي موازي لمحور z نصف قطره (10 cm) و محور هذا السطح يمر بالنقطة (x=5 , y=6 , z=0) و التعليق ما بعد العلامة $ لا يؤثر على ناتج الأمر و لا ينتج أي خطأ.

و لكل سطح يوجد جانب موجب و آخر سالب و يعرف الإتجاه كما يلي (J.Kenneth,et al,2005):

- سطح موجب عندما f(x,y,z) أكبر من الصفر.
- سطح سالب عندما f(x,y,z) أصغر من الصفر.

- **هندسة الخلايا**

الأجسام في برنامج MCNP تكون معرفة عن طريق خلايا و التي بدورها عباره عن تقاطع و إتصال أسطح و الصيغة العامة لخلية ما في ملف الإدخال تكون كالتالي:

j m d geom (params)

- الحروف (j,m) يجب أن تكون أرقام من صحيحة موجبة فالأول هو الرقم المميز للخلية والثاني هو الرقم المميز للمادة المتكونة منها الخلية والمعرف بنفس الرقم للمادة في بطاقة تعريف المواد (ستتم الإشارة إليه لاحقاً) فإذا كان الرقم 0 تكون الخلية فارغة.

- الحرف (d) يمثل كثافة المادة فإذا كان الرقم موجباً فهو يعبر عن الكثافة الذرية بوحدات ($10^{24}atom/cm^3$) وإذا كان سالباً فهو يعبر عن الكثافة بوحدات (g/cm^3).
- بالنسبة لـــ (geom) تحدد هندسة الخلية وتحتوي على عدد من الأسطح محدد بواسطة أرقامها المعرفة سابقا في كرت الأسطح.
- وأخيراً (params) تمثل معاملات محددة للخلية.

فمثلاً:

11 1 -0.96 -13 14 -3 10 -17 18 imp:n 1

وهذا الأمر يصف الخلية رقم 11 التي تتكون من المادة رقم 1 التي كثافتها ($0.96g/cm^3$) والخلية هي عبارة عن تقاطع الجانب السالب للسطح 13 مع الجانب الموجب للسطح 14 والجانب السالب للسطح 3 مع الجانب الموجب للسطح 10 والجانب السالب للسطح 17 مع الجانب الموجب للسطح 18 و هي خلية تهتم بمحاكاة مسار النيوترونات.

حيث أن (imp:n x) يعبر ماهية إهتمام الخلية و توجد فيها ثلاث إحتمالات و هي :

Imp:n	خاص بمحاكاة مسار النيوترونات
Imp:p	خاص بمحاكاة مسار الفوتونات
Imp:e	خاص بمحاكاة مسار الإلكترونات

و عدد الإهتمامات (imp:) يجب أن يساوي عدد الخلايا في المسألة و الرقم الذي يليها إذا كان صفر أي (imp:n 0) فإن المحاكاة لمسار الجسيم تنتهي عند تلك الخلية و تستعمل هذه الطريقة لكي لا يتم تتبع مسار الجسيم بشكل لا نهائي و سينهي برنامج MCNP بخطأ في هذه الحالة (A.Boston,2000).

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه عادة ما يتم تعريف العالم الذي تتم فيه المحاكاة world definition داخل بطاقة الخلايا وعادة ما يكون على شكل كروي مركزه نقطة الأصل ونصف قطره يكون بحيث كل الأشكال الهندسية تكون بداخل الكرة. وكمثال على تعريف العالم:

10 0 100 imp:p 0 $world definition تعريف العالم

11 0 -100 #(-1 2 -3) imp:p 1

السطر الأول يؤكد على الفوتونات يتم تجاهلها عندما تجتاز العالم الخاص بالمحاكاة بحيث أن نصف قطر الكرة (العالم) 10 سنتيمتر أهميتها صفر وفي السطر الثاني يتم إستثناء الكاشف وهو بعد العلامة # والعلامة السالبة تعني داخل الكرة وهو ذو أهمية تساوي (1) أي أن كل التفاعلات هنا يجب أن تؤخذ في الحسبان (A.Boston,2000).

- **الرسم الهندسي**

لرسم الأشكال الهندسية في برنامج MCNP يكتب الأمرالأتي:

mcnp ip n=file name

هنا ستتم قراءة الملف المسمى ومن تم سيظهر الرسم الهندسي له بثلاثة أبعاد في صورة ببعدين على شاشة الحاسوب ويمكن التحكم في الجزء الظاهر على الشاشة بتحديد الأحداثيات التي يراد النظر منها على الرسم. فعند كتابة (py 20) سيظهر صورة ببعدين لشكل ثلاثي الأبعاد وسطح عمودي عند النقطة (y=20) و كمثال عام:

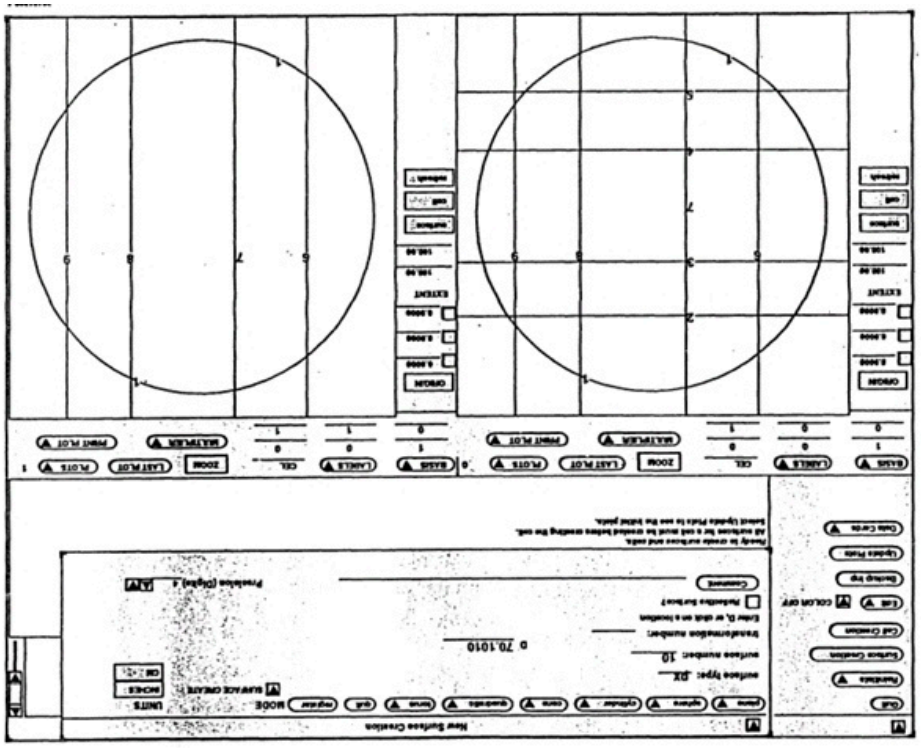
px vx

سيظهر المقطع العرضي للشكل الهندسي العمودي على محور x عند النقطة (x=vx) بالنسبة لنقطة الأصل، و بنفس الطريقة يمكن كتابة (py vy)،(pz vz) و يمكن كذلك تمديد مقياس الرسم بإستخدام الأمر (eh) في الإتجاه الأفقي و الأمر (ev) في الأتجاه الرأسي و عند كتابة (vx, vy, vz) فإن هذه النقاط نقطة الأصل للرسم الظاهر على الشاشة.

ولتخطيط الرسم بشكل grid شبكي بمقياس رسم معين نستعمل (scales n) حيث n يمكن أن تأخذ القيمة صفر أي لا يوجد رسم شبكي. و الأمر (labl s c des) يمكنه إضافة عناوين بحجم Sللأسطح و C للخلايا بإستعمال القيم الخاصة (des) لعناوين الخلايا و بعض الأمثلة لهذه القيم كالتالي (J.Kenneth,et al,2005):

- Cel (أسم الخلية)
- Imp (إهتمام الخلية)
- Rho (الكثافة الذرية)
- Den (الكثافة الكتلية)
- Vol (الحجم)
- Mas (الكتلة)
- Pwt (إنتاجية الفوتونات)
- Mat (رقم المادة)

القيم الإفتراضية هي (s=1,c=0,des=cel) و يوضح الشكل (1) مثال على رسم مخرجات ملف MCNP و لمزيد من التفاصيل يمكن النظر لكاتالوج البرنامج (R.A.Schwrz,et al,1994).



الشكل (1) يوضح الرسم الهندسي وبناء الأسطح الناتج عن مجموعة من الأوامر (R.A.Schwrz,et al,1994).

- **التعريف بالمصدر المشع**

من أبسط الطرق للتعريف بالمصادر الإشعاعية عن طريق الأمر (SDEF) و الذي يستعمل بدون أي معاملات إضافية و هذا الأمر يعرف إشعاعي طاقته (14Mev) و موقعه نقطة الأصل (0,0,0) عند زمن (t=0) و وزن (1) . بالإضافة إلى ذلك، توجد بعض المعاملات الشائعة الإستخدام مع الأمر (SDEF) و هي:-

- pos (x,y,z)
- erg (Mev)

فالأول يحدد موقع المصدر المشع بوحدات السنتيمتر والثاني يحدد طاقته بوحدات الميڤا إلكترون فولت، فمثلاً:

SDEF pos=-8 0 0 erg=0.662

وهو يعرف مصدر إشعاعي نقطي طاقته (0.662Mev) وموضوع عند النقطة (x=8,y=0,z=0).

وللتعبير عن المصادر المشعة بدقة أكبر توجد مزايا إضافية فمثلاً للتعبير عن المصدر الأشعاعي الباعث لأشعة جاما (Na-22) صوديوم-22 يمكن كتابة:

```
sdef pos=-8 0 0 erg=d1
si1 1 511e-3 1274.53e-3
sp1 d 0.65 0.35
```

السطر الأول يعرف مصدر إشعاعي نقطي موقعه (0,0,-8) و توزيع طاقته (d1) .

si1 هو بطاقة معلومات خاص بتوزيع الطاقة (d1) الرقم 1 الذي بعده يعلم البرنامج بأن الطاقة المنبعثة من المصدر الأشعاعي ليست طيف مستمر و إنما هي عبارة عن نبضات متقطعة للطاقة discrete و الأرقام بعده هي عبارة عن قيم الطاقة التي تصدر عادة من الصوديوم-22.

sp1 هي عبارة عن بطاقة الإحتمالات للمصدر المشع ذو التوزيع d1 ، و الحرف d الذي يليه يعلم البطاقة بمعاملة الأرقام التي تليه على أنها إحتمالات (**ملاحظة**: لا يجب أن يساوي مجموع الأرقام الواحد الصحيح).

وكمثال آخر للتعريف بمصدر مشع باعث للنيوترونات وليكن (Am/Be) اميريسيوم/ بريليوم نكتب:

```
sdef pos=-5 0 0 erg=d1
si1 h 0 1 1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
sp1 d 0 0.08 0.06 0.15 0.1 0.1 0.07 0.05 0.1 0.02 0.04 0
```

وكما سبق فالسطر الأول يعرف مصدر إشعاعي نقطي موضوع عند النقطة (5-,0,0) طاقته معرفة بتوزيع الطاقة (d1) . si1 بطاقة معلومات المصدر للتوزيع d1 ، أما الحرف h الذي يليه يخبر البرنامج بعمل تقسيم للطاقة بحيث تكون التقسيمات متساوية من حيث المقدار. sp1 هي عبارة عن بطاقة إحتمالات المصدر المشع للتوزيع d1، و حرف d الذي يليه يعلم البرنامج بأن الأرقام التي تليه هي إحتمالات لتقسيمات الطاقة في التوزيع d1. **لاحظ أن** عدد التقسيمات مساوي للعدد الإحتمالات و مجموع الإحتمالات لا يجب أن يساوي الواحد الصحيح. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه إحصائياً كلما زاد عدد التقسيمات للطاقة (Energy bins) كلما كانت الدقة أكبر في النتائج المتحصل عليها من المحاكاة والنتائج الواقعية (A.Boston,2000).

- **التعريف بالمحصلة**

بطاقات المحصلة تستعمل لتحديد ماهية المعلومات التي يريد المستخدم الحصول عليها من المحاكاة حيث توجد الكثير من المعلومات يمكن الحصول عليها من برنامج MCNP فمثلا يمكن الحصول على تيار الجسيمات أو فيضها بالإضافة إلى رسم الطاقة. ويمكن الحصول على بطاقة لمحصلة الفوتونات و كذلك بطاقة لمحصلة النيوترونات تعمل على التوالي:

- محصلة إرتفاع النبضة Puls Hight Tally
- محصلة الفيض The Flux Tally

- **محصلة إرتفاع النبضة**

يستعمل لإيجاد المحصلة هذه البطاقة (fn) و لمحصلة إرتفاع النبضة يستعمل (f8:p) (p يدل على الفوتونات) حيث أن نوع المحصلة متبوع مباشرة برقم أو أرقام الخلية المراد إيجاد محصلة إرتفاع النبضة لها و ذلك لمعايرتها لاحقاً. ويحدد بعدها توزيعات الطاقة وتقسيماتها لتتم المعايرة بشكل صحيح ويستعمل لهذا الغرض (e8) بحيث يجب أن تكون تقسيمات الطاقة متساوية على طول المدى المطلوب للطاقة (equally spaced energy bins). و هذا يؤدي إلى وجود عدد كبير جداً من تقسيمات الطاقة عند المعايرة فمثلاً لكاشف الجرمانيوم نحتاج إلى تقسيمات طاقة بدقة تصل إلى (0.5 kev/channel) و كمثال على إستعمال بطاقة المحصلة f8 (J.Kenneth,et al,2005):

```
C
C tallies $ 0.5 kev/channel
f18:p 1
e18 0.00000E+00 0.50000E-03 0.10000E-02 0.15000E-02 0.20000E-02
……
ft18 geb -0.015 0.118 0 $ NaI detector
```

الأسطر التي تبدأ بالحرف C يتم تجاهلها بإعتبارها تعليقات (f18:p 1) هو عبارة عن بطاقة تمكين لمحصلة إرتفاع النبضة فلا فرق بينها و بين (f8,f28,f38,….) طالما كان الفرق بينها قابل للقسمة على 10. و بالنسبة لـــ (e18) فهو يمثل تقسيمات الطاقة بدقة (0.5 kev) ، (ft) فهو يزيد من دقة إستجابة الكاشف للفوتونات في هذا المثال. أما بطاقة (ft18 geb) في تصف العرض الكلي لمنتصف أقصى إرتفاع لنبضة الطاقة FWHM و هي إختصار لـــ Full Width Half Maximum و معاملتها تكون كالتالي:

$$FWHM = a + b\sqrt{E + cE^2}$$

حيث E هي طاقة الجسيم و (a,b) ثوابت وحداتها (Mev) و C ثابت أيضاً و وحداته (Mev^2) و رياضياً يمكن تبسيطها إلى:

$$FWHM = a + b\sqrt{E}$$

لإيجاد الثوابت (a,b) يجب معرفة FWHM لطاقتين مختلفتين لكاشف معين و هذه العملية تعرف بالمعايرة Calibration و هي عملية مهمة جداً قبل البدء في قياس الأشعاع من كاشف ما. فعلى سبيل المثال لكاشف ايوديد الصوديوم (NaI detector) يمكن إستخدام FWHM لكل من السيزيوم-137 (cs-137) الذي يبعث أشعة جاما بطاقة (662kev) و كوبلت-60 (co-60) الذي يبعث أشعة جاما بطاقة (1332kev)، وعند إيجاد FWHM لكل طاقة على حدة نحصل على الثوابت بالطريقة التالية:

$$0.081 = a + b\sqrt{0.662}$$
$$0.121 = a + b\sqrt{1.332}$$

و منها نحصل على (a= -0.015) و (b= 0.118) (A.Boston,2000).

- **محصلة الفيض**

تستخدم بطاقة (F4:n) للحصول على نتيجة بوحدات ($particle/cm^2$) جسيم / سنتيمتر مربع علماً بأن كلمة جسيم تشتمل حتى على الفوتونات و تلي هذه البطاقة بطاقة الطاقة كما في المثال التالي:

```
C
C tallies المحصلة
C
C energy of neutrons طاقة النيوترونات
C
f14:N 1
e14 0.5e-6 1e-6 0.5e-5 1e-5 0.5e-4 1e-4 0.5e-3 1e-3 0.5e-2 1e-2 0.5e-1 1e-1 0.5 1 5 10 50 100
c
c interactions in the detector التفاعلات في الكاشف
c
f24:N 1
e24 0.5e-6 12
fm -1 2 103
```

تم إستخدام البطاقة (f24:N 1) كمثال على (f4) و هي تصف تفاعل النيوترونات في نظام كاشف لذلك تم إستعمال (fm24) أما الأرقام (103 2 1-) الواحد يمثل كثافة المواد داخل الخلية للمادة رقم 2 و التفاعل رقم 103و هو تفاعل نيوترون–فوتون (n,p reaction). ويمكن لهذا المثال أن يستخدم في محاكاة كاشف حقيقي في هذه الحالة كاشف الهيليوم (He-3 detector) (A.Boston,2000).

- **تعريف المواد**

تستعمل هذه البطاقة للتعريف بالمواد الداخلة في تكوين داخل الخلايا بالإضافة إلى النظائر المشعة. حيث أن برنامج MCNP يحتوي على مكتبة إلكترونية هائلة بها الكثير من الجداول الخاصة بالمقاطع العرضية cross sections، و تعريف المواد يشمل التالي:

- تحديد رقم خاص بالمادة.
- تكوين العناصر المشعة.
- تصنيف المقطع العرضي المستخدم.

وكمثال على ذلك:

```
C.....
C..... water for gamma ray transport ( by atomic fraction)
C.....
M1 1000 2 $ elemental H and atomic aaboundance
   8000 1 $ elemental O and atomic aboundance
```

الأرقام (1000) (8000) خاصة بعنصري الهيدروجين و الأكسجين على التوالي إستناداً لأعدادها الذرية Z و الأصفار الثلاثة خاصة بالعدد الكتلي A و هو مطلوب لتحديد النظير المشع للعنصر، و عادة ما يكون العدد الكتلي A ذو أهمية في حالة محاكاة إنتقال النيوترونات أما في حالة محاكاة إنتقال أشعة جاما فيمكن الإكتفاء فقط بالعدد الذري Z، و في حالة محاكاة إنتقالات متعددة فإنه يمكن الإستعانة بما يعرف بالكسر الكتلي (mass-fraction) للتعبير عن التركيب و يميز بإشارة سالبة كما في المثال التالي:

```
C……
C..... water for gamma ray transport ( by mass-fraction)
C……
M1 1000 -0.11190  $ elemental H and mass abundance
   8000 -0.88810  $ elemental O and mass abundance
```

وأشهر بطاقتين للتعريف بالمواد هما:

- Mm ZAID-1 fraction
- ZAID-2 fraction

حيث m تمثل رقم المادة في بطاقة الخلية و (ZAID= ZA IDentification) يحتوي على ستة أرقام و هي (ZZZAAA) كل Z خاصة بالعدد الذري و كل A خاصة بالعدد الكتلي فمثلاً (اليورانيوم عدده الذري 92 و عدده الكتلي 235) يكتب كالتالي:

ZAID of (U-235) =092235 or 92235

بالنسبة لمحاكاة إنتقال النيوترونات فيمكن إستبدال الأرقام الخاصة بالعدد الكتلي بأصفار كما ذكر في مثال سابق (J.Kenneth,et al,2005).

4. ملف المخرجات

عند تشغيل ملف الإدخال بنجاح دون الحصول على أي خطأ فإن ملف إخراج تحت نفس إسم ملف الإدخال متبوعاً بالحرف الإنجليزي O في آخره ينشأ في برنامج MCNP .

وينقسم ملف المخرجات إلى عدة أقسام وهي على الترتيب:

- ملف الإدخال يأتي في المقدمة ومعه كافة الأخطاء الموجودة به معرفة.
- قائمة من الخلايا مع كتلتها وأحجامها وقائمة بالمقاطع العرضية المستخدمة.
- ملخص للتشغيل يعطي معلومات عن كمية الجسيمات المنتقلة والمفقودة أثناء عملية المحاكاة بالإضافة إلى الزمن اللازم لذلك.
- بعض الإحصائيات الأخرى كتقسيمات الطاقة وعدد الجسيمات المكتشفة في كل تقسيمة و بعض المخططات الأخرى.

بالإضافة إلى ذلك يوجد إختلاف في الجداول الناتجة فمنها ما هو أساسي لا يمكن تجنب ظهورها و الآخر ثانوي لا يظهر إلا عند إستخدام أمر الطباعة (print) .

و للأستفادة المثلى من المحاكاة توجد بعض الإحصائيات ينبغي للباحث تفحصها و هي كما يلي:

- متوسط المحصلة The Tally mean
- الخطأ النسبي The Relative Error
- الإختلاف المعياري VOV

رقم الإستحقاق Figure of Merit FOM

- إنحدار المحصلة Tally Slop

يمكن للباحث النظر لكاتالوج MCNP لمزيد من التفاصيل (A.Boston,2000).

5. رسم المحصلة

من الطرق المفيدة لبرنامج MCNP أنه يمكن المستخدم من رسم النتائج الموجودة في ملف المخرجات و عرضها في شكل جداول و مخططات سواء أكان ذلك بإستعمال برنامج مايكروسوفت إكسل أو غيره من البرامج المشابهة، بالإضافة إلى وجود بعض الأوامر للرسم في البرنامج نفسه و منها نذكر الأمر(A.Boston,2000):

Mcnp ixrz n=filename

ستظهر بعد كتابة هذا الأمر

mcplot>prompt

عندما تنتهي محاكاة الإنتقال الإشعاعي و بعدها يتم الضغط على <> على الشاشة الخاصة بالأوامر لمشاهدة الرسم التوضيحي لأول محصلة first tally سيظهر الرسم على شكل هيستوجرام للمحصلة الأولى مع إظهار أعمدة للأخطاء. و يبين الجدول رقم (3) بعض الأوامر الشائعة المستعملة في الرسم:

الجدول رقم (3) بعض الأوامر الشائعة الإستعمال للرسم في برنامج MCNP (A.Boston,2000)

وكمثال لبطاقة رسم متكاملة:

الأمر	النتيجة
Linlin	Linear x-axis linear y-axis
Linlog	Linear x-axis log y-axis
Xlims min max nsteps	Defines x-axis
Ylims min max nsteps	Defines y-axis
Noerrbar	Suppress error bars
Title ""	Put title on graph
Xtitle ""	Defines x-axis title
Ytitle ""	Defines y-axis title

```
Prdmp 0 -15 1 $ create mctal file
Mplot freq 50000 $ define tally plot frequency
C .....
Ctme 300    $ run time 300 seconds
```

6. مثال عملي

الشفرة المدخلة عبارة عن محاكاة أجريت من قبل الباحث في معمل Oliver Lodge الخاص بجامعة ليفربول في المملكة المتحدة وهي محاكاة لكل ما كان موجود في المعمل بخصوص تجربة الكشف بإستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة في

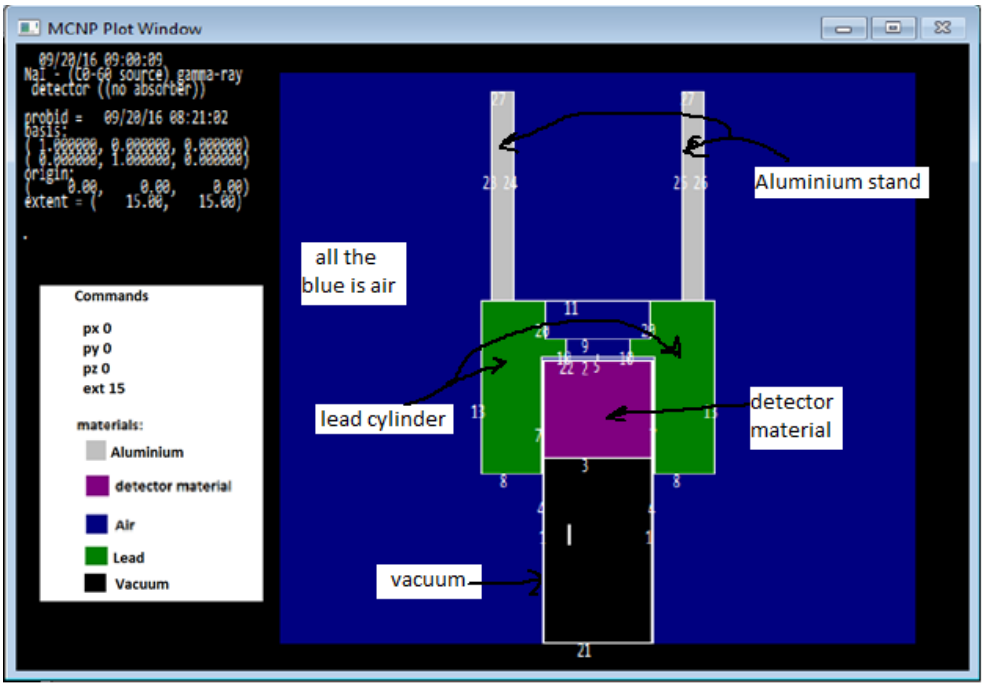
الكشف عن مصدر الإشعاع السيزيوم-137 الذي يشع أشعة جاما بطاقة 662kev و ملف الإدخال لبرنامج MCNP كالتالي (Hassn Mansour,2016):

```
C HPGe detector - (Cs-137 source "662Kev" ) gamma-ray detector ((no absorber))
C
C Material densities التعريف بالمواد
C (1 = -5.323) (2 = -0.001225) (3 = -11.35) (4 =-0.884)
C
C ################define Cells التعريف بالخلايا ################
C
15 1 -5.323 -1 2 -3                          imp:p 1  $Detector الكاشف
16 5 -2.70 -5 7 -3 #(-1 6 -3)                imp:p 1  $ Al cover الغلاف
17 6 -1.6 -5 3 -4                            imp:p 1  $ Carbon window نافذة من الكربون
18 2 -0.001225 -8 14 -10 #15 #16 #17 #23     imp:p 1  $ Air Cylinder 1 إسطوانة هواء
19 4 -8.92 -9 15 -10 #(-8 14 -10) #(-13)     imp:p 1  $ Copper cylinder إسطوانة نحاس
20 5 -2.70 -11 16 -10 #(-9 15 -10) #(-13)    imp:p 1  $ Al cylinder إسطوانة الومنيوم
21 3 -11.35 -12 7 -10 #(-11 16 -10) #(-13)   imp:p 1  $ Pb cylinder إسطوانة رصاص
22 2 -0.001225 -13 7 -14 #(-5)               imp:p 1  $ Air Cylinder 2 إسطوانة هواء
23 2 -0.001225 -1 6 -2                       imp:p 1   $ Air Cylinder inside Al cover
100 0 100                                    imp:p 0  $Define world تعريف العالم الغير مهم
101 2 -0.001225 -100 #(-12 7 -10)            imp:p 1  $Define world تعريف العالم المهم
C
C ################ Define Surfaces تعريف الأسطح ##############
C
1 cy 1.52          $Define detector تعريف الكاشف
2 py -3.04         $Define detector عريف الكاشف
3 py 0             $define detector +  Carbon window عريف الكاشف و نافذة الكربون
4 py 0.06          $ Carbon window نافذة الكربون
5 cy 1.62          $Al cylinder +  Carbon window نافذة الكربون و أسطوانة الالومنيوم
6 py -16.4         $ Air inside the Al Cover الهواء داخل غلاف الألومنيوم
7 py -16.5         $ Al  + Pb الومنيوم و رصاص
8 cy 12            $ Air Cylinder 1 إسطوانة هواء
9 cy 12.1          $Copper Cylinder إسطوانة نحاس
10 py 16.5         $ Al +Cu + Pb + air cylinder 1 إسطوانة الومنيوم و نحاس و رصاص و هواء
11 cy 12.2         $ Al الومنيوم
```

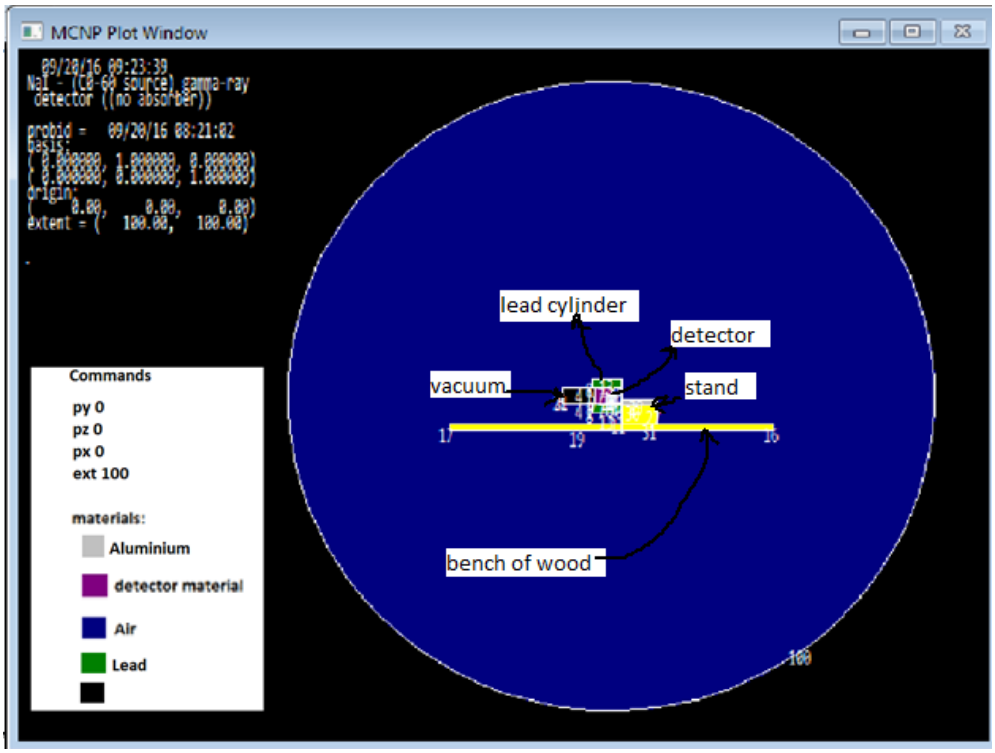
```
12 cy 17                $ Lead cylinder إسطوانة رصاص
13 cy 1.72              $ Air cylinder 2 إسطوانة هواء
14 py -11.5             $ Air cylinder 1 + 2 إسطوانة هواء
15 py -11.6             $ Cu نحاس
16 py -11.7             $ Al الومنيوم
100 so 100              $Define world تعريف العالم

mode p                  $photon transport وضع محاكاة الفوتونات
C
C ############### Define Source التعريف بالمصدر المشع ###############
C Cs-137 (no x-rays)    $ مصدر السيزيوم -137 بدون أشعة أكس السينية
c
sdef pos=1 8 1 erg=661.660e-3  $ التعريف بالطاقة للمصدر المشع
C
C ################ Define Tallies التعريف بالمحصلة ###############
C
f18:p 15
e18 0 1999I 1                  $0.5 keV bin size تقسيمات الطاقة
ft18 geb 1.856e-3 9.913e-4 0  $Ge-detector coefs كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة
f28:p 15
e28 0 1999I 1                  $0.5 keV bin size تقسيمات الطاقة
C
C ################ Define Materials التعريف بالمواد #############
C
m1 32000 1                                  $HPGe detector كاشف الجرمانيوم
m2 7000 0.78084 8000 0.20946 18000 0.009340 1000 0.00036  $air الهواء و مكوناته و نسبتها
m3 82000 1                                  $lead رصاص
m4 29000 1                                  $ Copper نحاس
m5 13000 1                                  $ Aluminium الومنيوم
m6 6000 1                                   $ Carbon كربون
C
C ################ Define Run Time تعريف زمن التشغيل ###############
C
mplot freq 50000   $ التردد
ctme 15            $ زمن التشغيل 15 دقيقة
```

7. النتائج والمناقشة:

يظهر لنا الشكلين (2) و (3) الرسم الهندسي للأدوات المستعملة في عملية المحاكاة للشفرة المدخلة الخاصة بمحاكاة عملية الكشف عن عنصر السيزيوم-137 بإستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة في الفقرة السابقة **لاحظ أنه** إذا وجد أي خطأ سيظهر في الرسم باللون الأحمر.



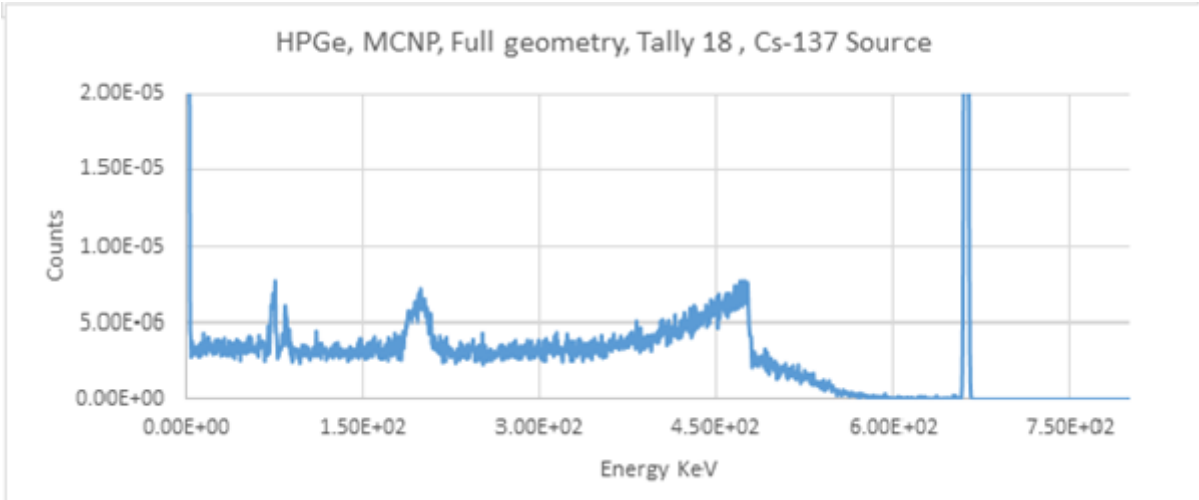
الشكل (2) توضح الرسم الهندسي المستخدم في الشفرة المدخلة (Hassn Mansour,2016).



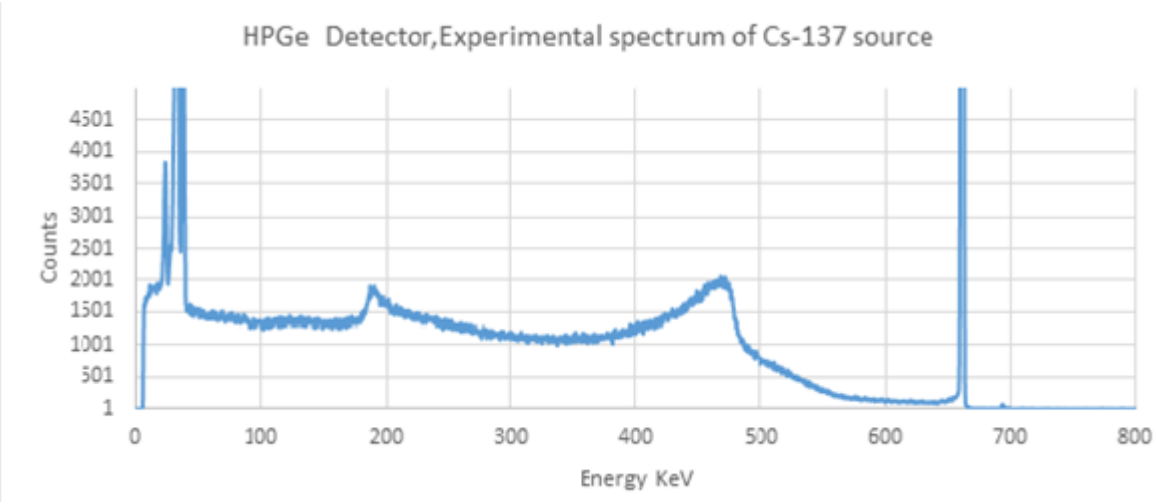
الشكل (3) توضح الرسم الهندسي المستخدم في الشفرة المدخلة من زاوية رؤية أخرى (Hassn Mansour,2016).

في كلا الشكلين (2) و (3) نلاحظ ظهور أرقام للأسطح تماما كما أدخلت في الشفرة و يظهر في الشكل (3) العالم المختار في شكل كرة لونها أزرق محيطة بالأجهزة التي من المفترض أن تتفاعل معها الأشعة المنبعثة من السيزيوم في أثناء رحلتها نحو الكاشف حتى تعطي نتائج قريبة من الواقع وقد تمت إضافة أسماء الأدوات لتوضيحها وكذلك تمت إضافة صندوق باللون الأبيض على اليسار يبين الأوامر المدخلة لكي نحصل على الشكل الذي على اليمين و هي عبارة عن تغيير مركز الرؤية في ثلاثة أبعاد (x=0,y=0,z=0) للنظر عن قرب (ext 15) في الشكل (2) و عن بعد (ext 100) في الشكل (3) وأيضاً تم توضيح كل مادة مستعملة ولونها في الشكلين (2) و (3).

من المعروف أن عنصر السيزيوم-137 (cs-137) يشع أشعة جاما بطاقة (662kev) بنسبة تقارب 95% عند تحلله إلى باريوم-137 (Ba-137) يتكون طيفه من قمة واحدة (photopeak) عند طاقة (662kev) لأن أكثر التفاعلات مع الكاشف تكون عند هذه القيمة ونتيجة لتفاعل أشعة جاما مع المواد المكونة للوسط المحيط بالكاشف تظهر تفاصيل أخرى في الطيف الناتج منها حافة كمبتون و قمته و قمة الإرتداد الأولي و المزدوج و تظهر كل هذه التفاصيل في الشكل (4) الذي تم إستخلاصه من الجداول الناتجة في ملف المخرجات وهو مطابق إلى حد كبير إلى الطيف الناتج من رسم الطاقة مقابل عدد التفاعلات في التجارب العملية والموضح في الشكل (5).



الشكل (4) يبين النتائج المتحصل عليها من رسم الجدول المتكون في ملف مخرجات الشفرة المدخلة الخاصة بمحاكاة عملية الكشف على عنصر السيزيوم-137 بإستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة المحور الأفقي يبين طاقة الأشعة المنبعثة والمحور العمودي يمثل عدد التفاعلات للأشعة مع الكاشف (Hassn Mansour,2016).



الشكل (5) يبين النتائج المتحصل عليها عملياً في عملية الكشف على عنصر السيزيوم-137 بإستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة المحور الأفقي يبين طاقة الأشعة المنبعثة والمحور العمودي يمثل عدد التفاعلات للأشعة مع الكاشف(Hassn Mansour,2016).

8. الخلاصة

الهدف الأساسي من هذه الورقة هو التعريف ببرنامج محاكاة إنتقال وتفاعل الأشعة النووية MCNP حيث تم إيضاح بنية ملف الإدخال والتعريف بمكوناته على الترتيب. بالإضافة إلى ذلك تمت الإشارة إلى بعض الأشكال الهندسية الشائعة وكيفية تمثيلها في ملف الإدخال لبناء الأسطح والخلايا الخاصة بالمسائل قيد الدراسة وكيفية رسمها في البرنامج لتجنب الأخطاء والحصول على النتائج المرجوة. وتم أيضاً سرد بعض الأمثلة التوضيحية لكيفية تعريف المواد والمصادر المشعة والتعامل مع نتائج ملف المحرجات بعد تشغيل البرنامج وأخيراً تم عرض مثال لشفرة متكاملة لملف إدخال وبعض المخططات والنتائج الخاصة به.

9. التوصيات

تمت كتابة هذا البحث باللغة العربية وذلك لقلة وجود أبحاث في المجالات العلمية عامة وفي مجال الفيزياء الإشعاعية وموضوع البحث خاصة ونتمنى أن يتم إدراج مثل هذه البرامج في الخطة التعليمية للجامعات العربية حتى نواكب التطور التقني في العالم الغربي وحتى الشرقي، فموضوع البحث له فوائد عديدة في كافة المجالات فعلى سبيل المثال لا الحصر بالنسبة لبلدان العالم العربي يمكن الإستفادة من هذا البرنامج في مجال الصحة لغرض العلاج بحيث يمكن إجراء محاكاة للجرعات الإشعاعية لمرض معين بشكل آمن دون الحاجة للتعرض للإشعاع و معايرة النتائج للحصول على أفضل جرعة إشعاع للعلاج من حيث الكمية و زمن التعرض.

10. المراجع

1. J. Kenneth. S, Richard E. Faw, Revised 20 April 2005, "an introduction to the MCNP Code".
2. Andrew Boston, 31 January 2000, "Introduction to MCNP- The Monte Carlo Transport Code", Oliver Lodge Laboratory, University of Liverpool, UK.

3. Editor: Joel A. Kulesza, September 28, 2022, "MCNP® Code Version 6.3.0 Theory & User Manual", Los Alamos National Laboratory.
4. R.A. Schwarz, LL. Carter, N Shrivastava, 1994, "Creation of MCNP input files with a visual Editor", Texas.
5. 0laseni M. Bello, 2020, "The Lung and Ssoft Tissue Stopping Power Estimates for a Modified Phantom Using MCNPX", University of Tecnology Malaysia.
6. D. Razaei-Ochbelogh,(et al), 2011, "Heart Simulation with Surface Equation for Using on MCNP Code", University of Mohahegh Ardabili, Iran.
7. Brown Forrest B. (et al), 2012, "MCNPMonte Carlo Progress Nuclear Criticality Saftey", San Diego,California, US.
8. Hosein Moayedi, (et al), 2022, "Optimization Design and Simulation of a Beta Voltic Nuclear Battery Based on Sr/Y-90 with MCNP /Geant4 Codes", University of Tehran, Iran.
9. Hassn. A.M. Mansour, April 2016, "Unpublished Practical Work Supervised by Andrew Boston Oliver Lodge Laboratory", University of Liverpool, UK.