الجمهورية الجزائرية الديمقر اطية الشعبية وزارة التعليم العالى والبحث العلمي



رقم الترتيب:..... رقم التسلسل:.....



جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي كلية العلوم الدقيقة قسم الفيزياء مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاعات و طاقة

من إعداد: جبالي مروة

الموضوع

إستخدام مقاييس الجرعات اللامعة لفحوصات التحقق من الجودة الروتينية لعلاج السرطان بإستخدام حزم الالكترون: النسبة المئوية لعمق الجرعة PDD

نوقشت يوم: -06-2019

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

لعجايلية فاروق أستاذ مساعد أ رئيسا ليتيم فتحي أستاذ مساعد أ مناقشا بن على عبد الحي أستاذ مساعد أ مؤطرا

الموسم الجامعي: 2019/2018

إهداء

الحمد لله الذي أنار لي درب العلم و المعرفة ووفقني إلى انجاز هذا العمل. إلى من بلغ الرسالة و أدى الأمانة و نصح الأمة إلى نبي الرحمة و نور العالمين سيدنا محمد صلى الله عليه و سلم. أهدي نتائج جهدي وخلاصة عملي: إلى من أثقلت الجفون سهرا و حملت الفؤاد هما و جاهدت الأيام صبرا و شغلت البال فكرا و

ر فعت الأيادي دعاءا و أيقنت بالله أملا حفظها الله و أطال في عمر ها " أمي الحنونة". إلى من كلله الله بالهيبة و الوقار إلى من علمني العطاء بدون انتظار إلى من أحمل إسمه بكل افتخار "أبي الغالي" كما أهدى هذا العمل:

إلى من عشت معهم وتقاسمنا أحلى الأيام و أمر ها إلى من هم أثمن و أجمل ما في هذه الدنيا:

إخوتي: عبد الرحمان و عبد العالي و عبد المنعم و عبد الباري أنار الله دروبهم.

أختى الغالية و الوحيدة : خولة و إلى كل أبنائها حفظهم الله.

إلى كل الأقارب و الأصدقاء...

شکر وتقدیر

هي سنة الحياة فلكل بداية نهاية فهاهو شارف على النهاية فالحمد لله الذي أنار لنا درب العلم و المعرفة و أعاننا على أداء هذا البحث ووفقنا لانجاز هذا العمل و نحمده سبحانه جل في علاه على نعمه التي أنعم بها علينا وبعد:

قبل أن أمضي أتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير لجميع أساتذتي الأفاضل في كامل مساري العلمي الذين وهبوا حياتهم من أجل إيصالي إلى هذا المستوى العلمي المرموق ولم يدخروا أي جهد في ذلك.

كما أتقدم بأسمى و أرقى عبارات التقدير و الإمتنان و الشكر للأستاذ المشرف "بن علي عبد الحي "على مساعداته الجبارة و تحمله من ذلك عبئا كبيرا و صبرا طويلا في مختلف مراحل إعداد هذه المذكرةو الذي كان لي خير معين فيها فأسأل الله العظيم أن يسهل له دروب النجاح و التألق...

أتقدم أيضا بالشكر الجزيل لأستاذي الفاضل " ليتيم فتحي " الذي لم يبخل علي بمساعداته و معلوماته القيمة، و بقبوله عضوا مناقشا في لجنة مناقشتي .

أشكر الأستاذ " لعجايلية فاروق" على تكرمه بقبول ترؤس لجنة مناقشتى.

الفهرس

Ι	الإهداء
II	شکر و عرفان
III	الفهر س
VII	قائمة الأشكال
III	قائمة الجداول
X	قائمة الرموز
1	المقدمة العامة
1	

الفصل الأول: تفاعل مادة إشعاع

4	<u>ا.</u> [. مقدمة	
4	2.I. تعريف الإشعاع	
4	1.2.I. تصنيف الإشعاع	
5	3.I. تفاعل الفوتونات	
5	1.3.I. الفعل الكهر وضوئي	
5	2.3.I. فعل كومبتون	
6	3.3.I. فعل إنتاج الأزواج	
7	4.3.I. نسبية الخضوع للعمليات المختلفة	
8	5.3.I. قانون التو هين	
8	I-4- تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة	
9	1.4.I. تشتت الجسيمات الثقيلة	
9	2.4.I. قوة الإيقاف	
9	3.4.I. التأين مع إنخفاض نقل الطاقة	
10	5.I. تفاعل الإلكترون	
10	1.5.I. تفاعل إلكترون - إلكترون مداري	
11	2.5.I. تفاعل الإلكترون مع النواة	
11	3.5.I. مسار الجسيمات المشحونة	
12	6.I. الخاتمة	
13	مراجع الفصل I	

15	الفصل الثاني: قياس الجرعات الإشعاعية: الكواشف والمقادير	
15	I.II. المقدمة	
15	2.II. المقادير المستخدمة في الوقاية من الإشعاع و قياس الجر عات	
15	1.2.II. المقادير الفيزيائية و قياس الجر عات	
15	1.1.2.II. تدفق الجسيمات	
15	2.1.2.II. تدفق الطاقة	
15	3.1.2.II. معدل سيولة الجسيمات	
16	4.1.2.II. معدل سيولة الطاقة	
16	5.1.2.II الطاقة المنقولة	
16	6.1.2.II. الطاقة المودعة	
16	7.1.2.II. الجرعة الممتصة و معدل الجرعة الممتصة	
17	8.1.2.II. الكيرما و تدفق الكيرما	
17	2.2.II. مقادير الحماية	
18	1.2.2.II. الجرعة المكافئة	
19	2.2.2.II الجرعة الفعالة	
19	3.2.II. المقادير العملية	
20	1.3.2.II. الجرعة المحيطة المكافئة	
20	II. 2.3.2 الجرعة الإتجاهية المكافئة	
20	3.3.2.II. المقادير العملية للرصد الفردي	
20	4.2.II. حد الجرعة	
21	3.II. مقاييس الجرعات (كواشف) الإشعاع المؤين	
21	1.3.II. الظواهر الفيزيائية في كواشف الإشعاع	
21	1.1.3.II. التلألؤ (اللمعان)	
22	2.1.3.II. التلألؤ (اللمعان) الحراري	
22	3.1.3.II. التلألؤ (اللمعان) الضوئي	
22	2.3. II. كواشف التلألؤ	
22	1.2.3.II. المبدأ الفيزيائي للمعان	
23	2.2.3.II. مقاييس الجر عات الحرارية الوميضية	
24	3.2.3.II. مقاييس الجر عات اللامعة المحرضة ضوئيا	
24	4.2.3.II. مقياس الجرعة الشعاعية	

25	4.II. هيكل الزجاج وفقا لـ زاكريازن
25	1.4.II. الخصائص الكيميائية لأيونات الفضنة
26	2.4.II. زجاج اللمعان الضوئي
26	3.4.II مراكز التلألؤ في RPL
27	<u>.</u>
28	مراجع الفصل II

الفصل الثالث: المحاكاة بطريقة مونت كارلو

32	1. III. المقدمة	
32	2. III. عموميات على طريقة مونت كارلو	
32	1.2.III. أرقام عشوائية	
33	2.2.III. طريقة مونت كارلو مقابل الطريقة الحتمية	
34	3.2.III. نقل الجسيمات	
34	1.3.2. III نقل الإلكترونات	
35	3.III. رموز محاكاة مونت كارلو الرئيسية	
35	1.3.III رمز PENELOPE	
35	2.3.III GEANT4	
35	3.3.III . رمز المحاكاة EGSnrc	
35	4.3.III رمز المحاكاة MCNP	
36	1.4.3. III الوحدات المستخدمة بواسطة الكود MCNP	
36	4.III. وصف رمز MCNP5	
36	1.4.III . هيكل الملف MCNP	
36	2.4.III. الخلايا	
37	3.4.III. السطوح (الهندسة) (Surface)	
39	4.4.III. تعريف البيانات في (MCNP	
39	1.4.4.III. المصادر	
40	2.4.4.III. الحاسب	
40	3.4.4. III. محتويات	
41	5. III. الخاتمة	
42	مراجع الفصل III	

44	الفصل الرابع: تعيين خصائص حزم الإلكترونات العلاجية من منحنى PDD باستعمال الكاشف 44 RPL GD-301: تأثير سطح الحقل وطاقة الحزمة	
45	1.IV. المقدمة	
45	2.IV. الأساليب والمواد المستعملة	
45	1.2.IV. الكاشف	
46	2.2.IV. المجسم	
47	3.2.IV. محاكاة مونت كارلو	
49	4.2.IV. النسبة المئوية لعمق الجرعة PDD	
51	3.IV. النتائج و المناقشة	
62	4.IV. الخاتمة	
63	مراجع الفصل IV	
65	الخاتمة العامة	

قائمة الأشكال

4	الشكل (1.I): تصنيف الإشعاع
5	الشكل (2.I) : الفعل الكهروضوئي
6	ا لشكل (2.I) : فعل كومبتون
7	ا لشكل (4.I): فعل إنتاج الأزواج
7	ا لشكل (5.I): الأهمية النسبية للتفاعلات المحتملة بين إشعاع γ و المادة
10	ا لشكل (6.I): ظاهرة تفاعل إلكترون - إلكترون مداري (a)التأين و(b)الإثارة
11	ا لشكل (7.I) : ظاهرة الكبح
18	ا لشكل (1.II): العلاقة بين الجر عات، الجر عة الممتصة، الجر عة المكافئة و الجر عة الفعالة
	ا لشكل (2.II): عوامل الترجيح الإشعاعي W _R للتعرض النيوتروني الخارجي للنيوترونات من مختلف
19	الطاقات
21	ا لشكل (3.II): العلاقة بين المقادير المختلفة المستخدمة في الحماية من الإشعاع و قياس الجر عات
23	الشكل (4.II): المبادئ الأساسية لعملية OSL ، TL و RPL
25	ا لشكل (5.II): تمثيل تخطيطي مسطح للهيكل
26	الشكل (6.Il): مبدأ الإشعاعية الشعاعية في زجاج الفوسفات المطلي +Ag
27	الشكل (7.II): ألية تشكيل مراكز التلألؤ
36	الشكل (1.III): هيكل ملف الإدخال MCNP.
37	الشكل (2.111): شكل بطاقة الخلية
37	الشكل (3.11): شكل بطاقة السطح
39	الشكل (4.111): شكل عام لبطاقة المصدر
39	الشكل (5.111): شكل بطاقات مصدر توزيع الوظائف
40	ا لشكل (6.III): تتسيق بطاقة المواد
46	الشكل (1.IV): صورة لمقياس الجرعات الزجاجية الإشعاعية الفلورية RPL GD-301
	الشكل (2.IV) :الصورة (أ) مجسم مائي (فانتوم). الصورة (ب) المسرع الإلكتروني المستعمل في العلاج
47	الإشعاعي بقسم العلاج بالأشعة في مركز مكافحة السرطان بالوادي
47	الشكل (2.IV): مخطّط التجمع للإشعاع لدر اسة المحاكاة
48	الشكل (3.IV): سطح عمل كود المحاكاة MCNP5 , مثال لملف الإدخال ل MCNP5
49	ا لشكل (4.IV): مثال عن بعض الأشكال لمخارج الحزم المستخدمة في العلاج الإشعاعي
50	الشكل (5.IV): مخطط يبين كيفية تحديد النسبة المئوية لعمق الجرعة
21	ا لشكل (6.IV): منحنى PDD لشعاع الإلكترون يوضح تعريف R _p ، R _{max} ، R ₅₀ و R ₉₀
	الشكل (7.IV):النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية Fild عند مساحة الحقل (Fild
52	
	الشكل (8.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية Fild فعند مساحة الحقل (Fild
52	
	الشكل (9.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية Fild عند مساحة الحقل (Fild
53	
	الشكل (10.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية Fild عند مساحة الحقل (Fild
53	

	الشكل(11.IV) : مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها
56	.Glide-Hurst et al و Lee et al للمقدار R ₅₀
	الشكل (12.IV) : مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها
57	.Glide-Hurst et al و Lee et al للمقدار R ₉₀
	الشكل (13.IV): مقارنة قيم R _P بين النتائج المتحصل عليها و الأعمال التي قام بها .
58	Maskani et al.Hurst
	الشكل (14.IV): مقارنة قيم E _P بين النتائج المتحصل عليها و الأعمال التي قام بها .E
60	و.Maskani et al
	الشكل(15.IV): مقارنة لقيم متوسط الطاقة \overline{E}_0 المتحصل عليها في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و
61	محاكاة مونت كارلو التي قام بها .Maskani et al و Lee et al

قائمة الجداول

ا لجدول (1.II): القيم الموصى بها لعوامل ترجيح الإشعاع	
ا لجدول (2.II): القيم الموصى بها لعوامل وزن الأنسجة	
جدول (3.II) : حدود الجرعة الموصى بها من طرف I'ICPR	
ا لجدول (1.III): مقارنة بين طرق مونت كارلو والتقنيات الحتمية .	
ا لجدول (2. III): مكتبة خرائط الأسطح المعترف بها بواسطة MCNP	
ا لجدول (3.III): أحجام مختلفة تستخدمها MCNP	
ا لجدول(1.IV): خصائص الكاشفRPL-GD-301	
ا لجدول (2.IV): خصائص المجسم ، التركيبات الذرية والكثافة المستخدمة في المحاكاة MCNP5.	
الجدول (3.IV): تأثير مساحات حقل (FS) على قيم المقادير المستخرجة من منحنى النسبة المئوية لعمق	
الجرعة.	
ا لجدول (4.IV): تأثير طاقة الحزم الإلكترونية على قيم المقادير المستخرجة من منحني النسبة المئوية	
لعمق الجرعة	
لعمق الجرعة ا لجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت	
لعمق الجرعة ا لجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Lee et al و Glide-Hurst et al	
لعمق الجرعة . الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و . Lee et al الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت	
لعمق الجرعة . الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و . Lee et al . الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها .Lee et al و .Lee et al .	
لعمق الجرعة . الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و . Lee et al . الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها . Lee et al و . Lee et al . الجدول (7.IV): قيم المقدار R _P المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية ومحاكاة مونت	
لعمق الجرعة الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها . Lee et al و الجدول (7.IV): قيم المقدار R _P المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية ومحاكاة مونت كارلو التي قام بها . Maskani et al و	
لعمق الجرعة. الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و . Lee et al . الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها . Blide-Hurs et al و . Lee et al و . الجدول (7.IV): قيم المقدار R _P المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها . Blide-Hurs et al و . الجدول (7.IV): قيم المقدار R _P المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها . Blide-Hurst et al و . الجدول (8.IV): مقارنة لقيم الطاقة E _P المتحصل عليها في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة	
لعمق الجرعة الجدول (5.IV): قيم المقدار R ₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Glide-Hurst et al و Lee et al الجدول (6.IV): قيم المقدار R ₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها كارلو التي قام بها Glide-Hurs et al و	
لعمق الجرعة	

قائمة الرموز

الرموز اللاتينية

W	طاقة الربط
e	شحنة الإلكترون
mc	الكتلة الحركية للإلكترون
Z	العدد الذري
h	ثابت بلانك [J.s]
m _e	كتلة الإلكترون
I(x)	تدفق الفوتونات الخارجة من وسط إمتصاص سمكه x
I ₀	تدفق فوتون الشعاع الساقط (الوارد).
$: \Delta E$	إنبعاث الكبح
Δx	طول مسار الجسيم الوارد في المادة
dN	عدد الجسيمات الواردة
dE	طاقة الجسيمات الواردة
R_{in}	الطاقة المشعة الواردة للجسم x
R_{ex}	طاقة مشعة تخرج من الجسم
D	الجرعة الممتصة
W _R	عامل الترجيح الإشعاعي
H_{T}	الجرعة المكافئة
$D_{T,R}$	متوسط الجرعة الممتصة إلى عضو أو نسيج
WT	عامل ترجيح الأنسجة

الرموز اليونانية

المقطع العرضي للتأثير الكهروضوئي	σ_{PE}
التردد [Hz , s ⁻¹].	ν
المقطع العرضي لتأثير كومبتون	σ_c
المقطع العرضي للتأثير إنتاج الزوج	σ_{Pir}
معامل التوهين الخطي	μ
كثافة المادة [g/cm ³]	ρ

المختصرات

IAEA	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
ICRP	الوكالة الدولية للحماية الإشعاعية.
ICRU	الوكالة الدولية لوحدات الإشعاع و القياسات
TLD	مقاييس الجر عات الحر ارية الوميضية
OSL	مقاييس الجر عات اللامعة المحرضنة ضوئيا
RPL	مقياس الجرعة الشعاعية
PENELOPE	الاختراق وفقدان الطاقة من البوزيترون والإلكترونات
GEANT4	الهندسة و التتبع
MCNP	مونت كارلو N- الجسيمات
LANL	مختبر لوس الاموس الوطني
PMMA	بوليميثيل ميثاكريليت
МС	مونت کارلو
SSD	المسافة من المصدر إلى السطح

المقدمة العامة

المقدمة العامة

مقاييس الجرعات الفلورية هي المواد التي تنبعث منها كمية من الضوء، متناسبة مع الإشعاعات المؤينة الممتصة عند التشعيع. هناك ثلاث أنواع رئيسية من أجهزة الكشف الفلورية (التلألؤ) يتم تطبيقها في قياس الجرعات: كواشف التلألؤ الحراري (OSLDs) ، كواشف التلألؤ المحفّز بصريًا (OSLDs) ومقاييس الجرعات الإشعاعية الزجاجية (RPL).

مقاييس الجرعات الحرارية الوميضية أو بعبارة أخرى كواشف التلألؤ الحراري (TLD) هو كاشف لقياس الجرعات الشخصية و له مزايا رئيسية مثل الحساسية العالية والاستجابة الخطية مع جرعة تصل إلى 1Gy(غراي) على الأقل ، واعتماد جيد على الطاقة ، وإمكانية إعادة الاستخدام ، ومقاومة الحقول المغناطيسية العالية و الرطوبة العالية. إلا أنه من أهم عيوبه ضياع البيانات بعد تسخين المقياس (بعد قراءة الجرعة) [2].

مقابيس التلألؤ المحفّز بصريًا (OSL) يتميز بأن له إمكانية كبيرة في قياس الجرعات الطبية ، مع ميزت التحكم الدقيق في التحفيز، قراءات سريعة تؤدي إلى إنتاجية عالية ، ومجال واسع للإستجابة الخطية بالإضافة إلى الحساسية العالية ، وإمكانية إعادة تقدير الجرعة الممتصة والقراءة الآنية في الوقت الحقيقي (أثناء التشعيع) [4,3].

مقاييس الجرعات الزجاجية الإشعاعية (RPLGDs) يتميز بميزة القراءة مرارا وتكرارا، لأن عملية القراءة لا تقضي على مراكز الإنارة (التلألؤ) العملية، لذلك لا يتم تدميرها بعد قراءة الجرعة (حيث تعود الإلكترونات الموجودة في مراكز الإنارة إلى مصائد الإلكترون)[5].

ومع ذلك،من بين كل مقاييس الجرعات الفلورية لا تزال مقاييس الجرعات الحرارية الوميضية TLDs هي أهم مقاييس الجرعات المستخدمة لرصد الجرعة الشخصية وللتحقق من الجرعة في الأشعة التشخيصية والعلاج الإشعاعي [5].

في الواقع ، يتم استخدام RPLGDs أكثر وأكثر لقياس الجرعات المتواجدة في المحيط وكذلك للأفراد وفي العلاج الإشعاعي. في السوق ، هناك ثلاثة أنواع رئيسية من كواشف RPLGDs المكون الأساسي للمادة الفعالة هو الزجاج FD-7 وهي: SC-1، GD-450 و Dose Ace. حيث يتم استخدام بعض المرشحات لتحسين الاستجابة الطاقوية[5].

تُستخدم مقاييس الجرعات SC-1 و GD-450 فقط مع مرشح (مرشح القصدير عمومًا). لمقاييس الجرعات من نوع Dose Ace أربعة نماذج مختلفة وهيGD-301 و GD-302M بدون مرشحات وGD-351 و GD-352M تحتوي على حامل مع مرشح القصدير [5,6].

طريقة مونت كارلو (MC) هي أداة قوية لنمذجة نقل الإشعاع من خلال وسائل مختلفة. من بين أهم تطبيقاته في مجال الفيزياء الطبية ، وخاصة قياس الجر عات الإشعاعية ، وأيضًا لتحليل المفاعلات النووية. الأغراض العامة لمونت كارلو تستخدم للفوتونات، الإلكترونات والنيترونات حيث تحتوي على القدرة على حساب القيم والمقادير المميزة و المناسبة لكثير من الأنظمة الهامة [7]. في هذه المذكرة تمت الدراسة باستخدام مقياس الجرعات الزجاجية الإشعاعية (RPLGD)، لإيجاد بعض الخصائص للكاشف الإشعاعي للحزمات الإلكترونية التي تستعمل في العلاج الإشعاعي عن طريق المحاكاة باستعمال طريقة مونت كارلو. هذا الكاشف مسوق ومتوفر وهو الكاشف RPL GD-301 بدون مرشح. تحتوي هذه المذكرة على أربعة فصول.

الفصل الأول يتضمن أهم خصائص التفاعلات الإشعاعية مع المادة وهي تفاعل الإلكترونات و الجسيمات الثقيلة المشحونة و الفوتونات مع المادة.

الفصل الثاني فهو مخصص لتعريف أهم المقادير الفيزيائية والجرعات الرئيسية والوحدات المستخدمة في قياس الجرعات كما تم التطرقلمقاييس الجرعات للتلألؤ الثلاثة الرئيسية وهي مقياس الجرعات الحرارية (TLD) ومقاييس الجرعات الضوئية المحفزة بصريًا (OSLD) ،وعلى وجه الخصوص مقياس الجرعات الزجاجية الإشعاعية الفلورية (RPLGD) مع ذكر خصائص و استخدامات كل واحد منهم.

الفصل الثالث تم تقديم وصف شامل للمحاكاة باستخدام طريقة مونت كارلو مع ذكر أهم الرموزالرئيسية (الكود) المتوفرة التي تستخدم طريقة مونت كارلو، ثم التركيز على الرمز (كود) المستعمل في هذا العمل وهورمز MCNP.

أما الفصل الرابع و الأخير فهو يمثل عملنا التطبيقي بالمحاكاة بطريقة مونت كارلو الإصدار الخامس MCNP5 و بإستعمال مقياس الجرعة الإشعاعية RPL GD-301 لحساب الطاقة المودعة لإيجاد منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة PDD بإستعمال حزم إلكترونية مختلفة 20MeV- و بمساحات حقول مختلفة 20MeV منعني مختلفة ألمسارات و الطاقات مختلفة 20x20 (cm²) محيث تم دراسة تأثير كل منهما على قيم المسارات و الطاقات المستخرجة من منحنى PDD ، كما تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تم نشرها في مجلات عالية المودة.

مراجع المقدمة العامة

[1] A.-H. Benali, G. Medkour Ishak-Boushaki, A. Nourreddine, M. Allab and P. Papadimitroulas, A comparative evaluation of luminescence detectors: RPL-GD-301, TLD-100 and OSL-AL₂O₃:C, using Monte Carlo simulations, 2017 JINST 12 P07017.

[2] P. Olko, Advantages and disadvantages of luminescence dosimetry, Radiat. Meas. 45 (2010) 506.

[3] E.G. Yukihara and S.W. McKeever, Optically stimulated luminescence (OSL) dosimetry in medicine, Phys. Med. Biol. 53 (2008) R351.

[4] X. Wang, J. Zhu, S. Chen, Q. Tang and X. Liu, Monte-Carlo simulations of Al_2O_3 dosimetry in uniform MV photon beams: Influence of field and detector size, Radiat. Meas. 47(2012) 501.

[5] Y.C.H. David and S.-M. Hsu, Radio-Photoluminescence Glass Dosimeter (RPLGD), in Advances in Cancer Therapy, InTech, Rijeka Croatia (2011) [ISBN: 978–953–307–703–1].

[6] Ž. Knežević, L. Stolarczyk, I. Bessieres, J.M. Bordy, S. Miljanić and P. Olko, Photon dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence (OSL), thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence (RPL) dosimetry, Radiat. Meas. 57 (2013) 9.

[7] J.-E. Rah et al., Dosimetric evaluation of a glass dosimeter for proton beam measurements, Appl. Radiat. Isot. 70 (2012) 1616.

الفصل الأول تفاعل إشعاع - مادة

الفصل

تفاعل إشعاع _ مادة

1.I. المقدمة

هذا الفصل عبارة على تذكير عام خاص بالتفاعلات الإشعاعية مع المواد والغرض منه هو تقديم تعريف على ظواهر الفيزياء النووية المختلفة التي تندرج تحت هذه المتفاعلات.

(Definition of radiation) تعريف الإشعاع.2.1

يمكن تعريف الإشعاع باعتباره انبعاثا أو نشر الطاقة في الفضاء, في شكل موجات كهرومغناطيسية أو جسيمات [1].

1.2.I. تصنيف الإشعاع (Classification of radiation

يمكن تصنيف الإشعاعات إلى صنفين أساسيين وفقا لطبيعة الإشعاع أو تأثيره على المادة, الإشعاع غير المؤين و الإشعاع المؤين[2].

- الإشعاع غير المؤين (لا يمكن تأيين المادة).
 - الإشعاع المؤين بإمكانه تأيين المادة [3].

هناك نوعان من الإشعاع المؤين : إشعاع مؤين غير مباشر و إشعاع مؤين مباشر .

1)- الإشعاع المؤين غير المباشر (Indirect Ionisation radiation), عبارة على إشعاع الكهرومغناطيسي ويتمثل في الجسيمات غير المشحونة مثل الأشعة γ, X والنيترونات;

2)- الإشعاع المؤين المباشر (Direct Ionisation radiation)، ويتمثل في الجسيمات المشحونة, مثل الجسيمات, -β والبروتونات[4;5].



الشكل (1.I): تصنيف الإشعاع [6].

3.I. تفاعل الفوتونات مع المادة (Interaction photons with matter)

الفوتونات هي إشعاعات كهرومغناطيسية بدون كتلة،ولديها إمكانية كبيرة فياختراق المواد بسهولة[4].في مجال الطاقة التي تهمنا، يتفاعل الفوتون مع المادة وفقا لثلاثة عمليات رئيسية: الفعل الكهروضوئي،فعل كومبتون وفعل إنتاج الأزواج [6].

1.3.I. الفعل الكهروضوئي (Photoelectric effect)

يحدث عندما يتفاعل فوتون مع إلكترون مرتبط في إحدى مداراة الذرة المكونة للمادة [7]، حيث يكتسب الإلكترون المقذوف (المستهدف) طاقة حركية E_e تعادل الفرق بين طاقة الفوتون الوارد $E_{\rm hv}$ و طاقة ربط الإلكترون Wداخل الذرة [5].

$$E_e = W \quad E_{\rm h\nu} \tag{1.1}$$

وبالتالي فإن التأثيرات الكهروضوئية تتوافق مع التأيينات للطبقات الإلكترونية (K أو L) المرتبطة بالذرات التي تعيد تنظيم نفسها عن طريق إصدار إشعاعات كهرومغناطيسية ثانوية X أو إشعاع الإلكتروني [2].

يتم استنتاج المقطع العرضي الفعال
$$\sigma_{PE}$$
للتأثير الكهروضوئي [8].

$$\sigma_{PE} = 64\pi \frac{e^{2}\hbar W^{3/2}}{mc E_e^{5/2}}$$
(2.1)

حيث :

بالإضافة إلى ذلك فإن المقطع العرضي الفعال σ_{PE} يتناسب طردا مع $Z^5 E_{hv}^{-7/2}$ [9].



الشكل (2.1) : الفعل الكهر وضوئي [2].

Compton effect) فعل كومبتون (2.3.I

يتم في فعل كومبتون تفاعل الفوتون مع إلكترونات الطبقات الفرعية (الإلكترون شبه حر) [10]. حيث ينتشر (ينتثر) فوتون بزاوية θ مع طاقة أقل من طاقة الفوتون الوارد E_{hv}، وينبعث إلكترون وفقا للزاوية φ (أنظر الشكل (3.1)). مبدأ حفظ الطاقة يعطي المعادلة (3.1)[1].

Ehv

حيث E_{γ} تمثل طاقة الفوتون الوارد ، E_{γ} طاقة الفوتون المنتشر و $E_{\rm e}$ الطاقة الحركية للإلكترون. من الممكن الوصول إلى علاقة تربط بين طاقة فوتون كومبتون المنتشر مع زاوية الإنتشار من خلال مبدأ إنحفاظ الزخم (الدفع) و الطاقة الحركية. حيث تعطى بالعلاقة (4.1)[9].

E

$$\underline{e_{hv}}$$
. $\cos\theta = (1 + \gamma) \tan(\frac{1}{2})$ $\gamma = \frac{E_{hv}}{m_0 c^2}$



الشكل (3. I) : فعل كومبتون [10].

يتم إعطاء المقطع العرضي التفاضلي لكل وحدة زاوية صلبة من فعل كومبتون بواسطة صيغة *Klein-Nishina*كما يلي [6]:

$$\frac{d\sigma_{KN} (E,\theta)}{d\Omega}$$

$$r_0 = \frac{e^2}{m_0 c^2}$$
 · $\alpha = \frac{hv}{m_0 c^2}$

Air production) فعل إنتاج الأزواج (Pair production)

يتمثل أو يتجسد فعل إنتاج الأزواج في تكوين زوج إلكترون- بوزيترون (-e⁺/e) عندما يخترق الفوتون حقل كولوم في النواة[7]. يختفي الفوتون ويفقد كل طاقته ويولد بوزيترون(⁺e) و إلكترون(-e) [2]. الطاقة اللازمة للحصول على تجسيد هذا الزوج تساوي 1,022 MeV [10]. إذا كانت طاقة الفوتون أقل من هذه القيمة فإن تحقيق هذا الفعل مستحيل. بالنسبة للطاقة الزائدة (E_{hv} 1,022) فهي تظهر في شكل طاقة حركية للبوزيترون [11]. يتم إبطاء الإلكترون و البوزيترون في المادة نتيجة للاصطدامات، عندما يكون بطيئا بما فيه الكفاية يصادف البوزيترون إلكترونا للوسط ، وتفنى الجسيمات عن طريق إصدار فوتونات ذات طاقة تقدر ب m₀c²= 0,511 MeV [13]. علاقة حفظ الطاقة تكتب كالتالي:

 $+E_{e+}+E_{e-}2m_0c^2 = E$ (6.I) $E_{e+}+E_{e-}2m_0c^2 = E_{e-}$ (6.I) و E_{e+} هي الطاقة الحركية للالكترون و البوزيترون على التوالي[10].



الشكل (4.I): فعل إنتاج الأزواج [9].

يعتمد المقطع العرضي لإنتاج الزوج على طاقة الفوتون و مربع العدد الذري (2²) [2]. (Relative predominance of للعمليات المختلفة 4.3.1 (differentprocesses)

اعتمادا على العدد الذري للوسط وطاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي يمكن تحديد ثلاثة مناطق طاقة لإحتمالية الخضوع للتفاعلات الثلاث المختلفة [13].

يعتمد احتمال خضوع الفوتون لظاهرة من ظواهر التفاعل المختلفة على طاقة الفوتون E والعدد الذري Z للمادة. بشكل عام ، يسود التأثير الكهروضوئي مع طاقة الفوتون المنخفضة ، وتأثير كومبتون مع الطاقات المتوسطة وإنتاج أزواج مع طاقة الفوتون العالية.



الشكل (5.I): الأهمية النسبية للتفاعلات المحتملة بين إشعاع γ و المادة [1].

المقطع العرضي لتفاعل الفوتون مع المادة هو مجموع كل المقاطع العرضية للعمليات المختلفة . ويعطى بالعلاقة[1].

$$+\sigma_{pir} + \sigma_c = \sigma_{pe}\sigma_{tot} \tag{7.I}$$

•الفعل الكهروضوئي أكثر شيوعا عند الطاقات المنخفضة في المواد الثقيلة (Z مرتفع) . حيث يتوقف عند طاقة تساوي KeV.

• في الطاقات العالية فعل إنتاج الزوج هو الغالب، حيث يبدأ من الطاقة MeV 5 في المواد الثقيلة (Z مرتفع) .

•بين الفعلين السابقين تقع منطقة يسيطر فيها فعل كومبتون. بالنسبة للمواد الخفيفة (Z منخفضة) (مثل الكربون ،الهواء ، الماء و الأنسجة البشرية)، فإن هذا المجال يعتبر واسع للغاية (من 20 KeV إلى 3 (MeV)[3].

Law of mitigation). قانون التوهين. (Law of mitigation)

تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة يؤدي إلى توهين الحزمة العارضة. في حالة حزمة أحادية متوازية، يتم تحديد شدة الحزمة الناتجة (الخارجة) *I* بدلالة سمك مقطع المادة المخترقة (المستهدفة) *x* وشدة الحزمة العارضة *I*

(8.I)

$$I(x) = I_0 \times e^{-\mu x}$$
 (8.I)
 I_0 : تدفق فوتون الشعاع الساقط (الوارد).
 $I(x)$: تدفق الفوتونات الخارجة من وسط إمتصاص سمكه x [1].
 $e^{-\mu x}$: يمثل جزء من الفوتونات التي لم تتفاعل و هذا العنصر من المعادلة يسمى أيضا عامل الإرسال[4].

حيثµ هو معامل التوهين الخطي الذي تعتمد قيمته على طاقة الإشعاع و طبيعة الوسط الذي تم إجتيازه [6].

4.I تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة Interaction of heavy) chargedparticles)

على العكس بالنسبة للجزيئات المحايدة و الجسيمات الخفيفة المشحونة (-e و +e) أو الثقيلة (ρ ، α شظايا من أيونات الانشطار) فهي لا تختفي أثناء تفاعلها مع المادة و لكن تتباطأ بشكل تدريجي حتى تتوقف (إذا كان سمك المادة المستهدفة كافيا). يتكون التفاعل مع المادة في الواقع من عدد كبير جدا من عمليات نقل الطاقة الحركية الضعيفة مصحوبة بتغيرات ضعيفة في الاتجاه [6;10].

1.4.I. تشتت الجسيمات الثقيلة (Broadcasts particles heavy)

يمكن أن يتم تفاعل هذه الجسيمات مع الوسط بطرق مختلفة :

تشتت مرن مع نواة ذرية : هذا النوع من التشتت، الذي اشتهر به Rutherford و تجربة Geiger et Marsden

تشتت مرنمع الإلكترون: لا يحدث إلا للجسيمات المشحونة ذات الطاقة المنخفضة (<ev).
 [6].

 تشتت غير مرن مع النواة: في هذه الحالة ينحرف الجسيم و يمكن أن يشع بعض طاقته على شكل إشعاع إنكباحي حيث يمكن للجسيم أن يعطي بعض طاقته للنواة التي ستكون في حالة إثارة. و تسمى هذه الظاهرة النادرة بإثارة كولوم. بر امستر اهلونق (Bremsstrahlung)

 تشتت غير مرن مع الإلكترن: و هي عملية تفاعلية للجسيمات الثقيلة المشحونة. إعتمادا على طاقة الحادث فإن رد الفعل سيؤدي إلى إثارة أو تأين الوسط. خلال التباطؤ يتم إنشاء إلكترونات بطاقة منخفضة بشكل أساسي، في بعض الحالات تكون الإلكترونات الثانوية نشطة بما يكفي لتأين المواد [10].

2.4.I. قوة الإيقاف (Stopping power)

التأين والإثارة الذرية يؤديان إلى فقدان الطاقة عن طريق الإصطدام في الوسط الذي تم إجتيازه من خلال مقدار يسمى قوة الإيقاف S والمعبر عنها ب J.m⁻¹ أو MeV.cm⁻¹ و التي تمثل الطاقة المفقودة بواسطة جسيم مشحون لكل وحدة طول المسار الذي تم اجتيازه [10].

∆E: الطاقة الحركية المفقودة في التصادم مع الإلكترونات الذرية أو على شكل إنبعاثات الكبح. ∆x:طول مسار الجسيم في المادة [13]. يتم تقسيم قوة الإيقاف إلى قسمين :

قوة إيقاف إشعاعي (بالإشعاع) S_{rad} ، الناتجة عن تفاعل الإلكترون مع النواة.

قوة إيقاف تصادمية (عن طريق الاصطدام) S_{col} ، الناتجة عن تفاعل إلكترون مع إلكترون مداري.
 هذا الأخير يلعب دورا هاما في حساب الجرعة الممتصة لكل مادة.

قوة الإيقاف الإجمالية هي مجموع قدرة الإيقاف الإشعاعي و قدرة الإيقاف التصادمي [10,14].

3.4.I التأين مع إنخفاض نقل الطاقة (The Linear Energy Transfer)

تتميز المادة بقدرة التوقف أو فقدان الطاقة لكل وحدة طول (ΔΕ /Δx) [6]، ويتم إعطاؤه بواسطة صيغة Bethe –Bloch. في قياس الجرعات نتحدث عن نقل الطاقة الخطية (TLE) والذي يتوافق مع متوسط الطاقة المنقولة بواسطة الجزيئات الساقطة على المادة لكل وحدة طول [10]. يتم التعبير عن TLE في الميكانيك النسبية من خلال صيغة Bethe –Bloch كما يلي[1].

على الرغم من أن الأثار البيولوجية تختلف من إشعاع إلى آخر، كقاعدة عامة يزيد تأثير الجسم المشحون بالتناسب مع TLE.

(Interaction electrons) تفاعل الإلكترون.

الإلكترونات هي جسيمات ضوئية تحمل شحنة كهربائية أولية، حيث يتم فقدان الطاقة الحركية خلال حركتها في وسط مادي [2].

يمكن تقسيم تفاعلات الإلكترون وفقا لنصف القطر (a) للذرة المستهدفة و المسافة (b) بين جسيم الحادث و نواة هذه الذرة في ثلاث فئات :

1. تصادم إشعاعي (b >>a) : يتأثر الإلكترون الحادث من قبل قوة الحقل الكولومي النووي (إنتاج إشعاع إنكباحي) (Bremsstrahlung) .

2. تصادم قوي ($b \approx a$) : يمكن أن يكون للإلكترونات تفاعل كولومي مع الإلكترونات المدارية (إصطدام قوي).

تصادم لين (b << a): يمكن أن يكون للإلكترونات تفاعل كولومي مع الإلكترونات المدارية (إصطدام لين)[14].

Electron-orbital electron الكترون مداري Electron-orbital electron) interactions)

التفاعل الكولومبي بين إلكترون وارد و إلكترون مداري للمادة تتجلى فيه الطاقة الذرية كتأين أو إثارة للوسط .

التأين: هو نقل الطاقة إلى إلكترون المادة حيث يتم إخراجه من الذرة. هذا التفاعل يكون ممكن فقط إذا كان الإلكترون الوارد لديه طاقة أعلى من طاقة ربط الإلكترون المداري.

الإثارة: هي نقل طاقة الإلكترون الوارد حيث تكون أقل من طاقة الربط للإلكترون المداري، هذا الأخير ينتقل من طبقة إلكترونية إلى طبقة أخرى. يتبع هذا انتقال إلكترون آخر ليعوض مكانه وذلك لإعادة ترتيب الموكب الإلكتروني بالإضافة إلى إنبعاث إشعاع كهرومغناطيسي (X,UV) أو إلكترون يسمى إلكترون "Auger"



الشكل (6.I): ظاهرة تفاعل إلكترون - إلكترون مداري (a)التأين و(b)الإثارة [4,2].

2.5.I تفاعل الإلكترون مع النواة (Electron-nucleus interactions)

التفاعل الثاني لجسيمات الضوء المشحونة هو الانحراف. بالمرور في مجال كولوم للنواة فالجسيمات تتفاعل و تنحرف وفقا لقوانين الكهرومغناطيسية الكلاسيكية، أي تسارع الجسيمات المشحونة ينتج عنه خسارة من الطاقة المنبعثة في شكل إشعاع. هذا الأخير يعرف بإشعاع الكبح (Bremsstrahlung) [4]، وهو مفسر بالتسار الذي يخسره الإلكترون الحر (أو أي جسيم مشحون آخر) عندما يمر بالقرب من النواة. و هو من الممكن أن تصل طاقة الفوتون الناتج إلى الطاقة الكلية للإلكترون[15]. وهذه الظاهرة هي في الأصل مولدة للأشعة السينية وهي طريقة بسيطة و فعالة للحصول على الفوتونات في هذا المجال الطيفي، حيث تعتبر احد مصادر إنتاج الفوتونات [8].



الشكل (7.I) : ظاهرة الكبح [2].

Path charged particles) المشحونة. (Path charged particles)

هو المسار الضروري لهذا الجسيم ليفقد تماما كل طاقته الحركية. بالنظر إلى حزمة من الجسيمات المشحونة ذات طاقة إبتدائية E₀ والتي تخترق المادة، فإن كل جسيم حادث له مسار فردي والتي تختلف من جسيم لآخر حسب طاقته وعدد التصادمات داخل المادة. يعرف المسار العادي R بالعلاقة التالية[1]:

 R_{c}

حالة الإلكترون: غالبا ما يكون مسار الإلكترون أكثر إنحرافا وذلك لأن الجسيمات الثقيلة مشحونة ، و بسبب نقل الطاقة الكبيرة الممكنة لكل تصادم. يتم تعريف متوسط المسار على أنه سمك المادة التي تقال طاقة الإلكترون إلى النصف. لتقدير قيمة هذا [6] هناك العديد من العلاقات التجريبية للتعبير عن أهمية تفاعل الإلكترون مع المادة، و إحدى هذه العلاقات هي[10]:

حيث Pهو المدى (cm) و E هي طاقة الإلكترون (MeV) و ho هي كثافة المادة ((cm^3)). هذه العلاقة تطبق فقط إذا كان (cm^3) العلاقة تطبق فقط إذا كان (cm^3)

6.I. الخاتمة

في هذه الفصل تم التطرق إلى أهم الخصائص المتعلقة بتفاعلات إشعاع مادة، و بالتحديد في تفاعلات الإلكترونات، الجسيمات الثقيلة المشحونة و الفوتونات مع المادة.

بالنسبة لتفاعل الفوتونات مع المادة تم التطرق إلى التأثير الكهروضوئي، تشتت كومبتون و فعل إنتاج الأزواج، في تفاعل الجسيمات الثقيلة المشحونة تم التطرق إلى تشتت الجسيمات الثقيلة، قوة الإيقاف و التأين مع انخفاض نقل الطاقة و أما لتفاعل الإلكترونات مع المادة تم التطرق إلى تفاعلات إلكترون-إلكترون مداري، تفاعلات الإلكترونات مع النواة و مسار الجسيمات المشحونة.

مراجع الفصل]

[1] C. Jimonet et H. Métivier, "Personne compétente en radioprotection Principes deradioprotection- réglementation", EDP Sciences 2007.

[2] D. Mouhssine, Étude d'une nouvelle génération de dosimètre basée sur les détecteursphoto stimulables type BaFBr(Eu) : caractérisation et application à la dosimétrieenvironnementale et personnelle, thèse de doctorat ,Université Louis Pasteur- StrasbourgI,2004.

[3] E.B. Podgorsak "Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students", Vienna: Technical Editor, IAEA, 2005.

[4] H. Métivier "Radioprotection et ingénierie nucléaire"EDP Sciences 2006.

[5] H. Métivier, Radioprotection et ingénierie nucléaire, EDP Sciences 2006.

[6] M. Vanstalle"Dosimétrie électronique et métrologie neutrons par capteur CMOS àpixels actifs", Thèse de doctorat, Université de Strasbourg,2011.

[7] A.A0 LYOUSSI Détection de rayonnements et instrumentation nucléaire, EDPSciences 2010.

[8]S. Till "Nouvelle approche de la dosimétrie des rayonnements ionisants par mesure defluorescence, Solon la technique du comptage de photon unique,corrélé n temps à la l'échelle manaseconde", Thèse de doctorat, Université de Strasbourg,2011.

[9] R. Antoni, L. Bourgois" Physique appliquée à l'exposition externe Dosimétrie et radioprotection" 2013.

[10] Y. Ould Salem" Etude expérimentale et modélisation Monte Carlo des grandeursopérationnelles en métrologie des rayonnements ionisants : application à ladosimétrieneutrons par radiophotoluminescence " Thèse de doctorat, Université de Strasbourg,2014.

[11]D. benoit, mise au point et évaluation d'un système fibré de dosimétrie en ligne utilisantdes matériaux phosphorescents stimulables optiquement application à la mesure dedose enradiothérapie et au monitoring de faisceaux, Thèse de doctorat, Université deToulouse,2008.

[13] J.N .BADEL" Contrôle dosimétrique des traitements de radiothérapie par simulationMonte Carlo de l'image de dose portale transmise", Thèse de doctorat, Ecole doctorale :EEA,2009.

[14] E.B. Podgorsak "Radiation Physics for Medical Physicists".2005.

[15] E. Spasic" Dosimétrie in vivo intracavitaire basée sur La Luminescence StimuléeOptiquement De l'Al2O3:C dédiée à la curiethérapie", Thèse de doctorat, Université deLorraine,2012.

الفصل الثانى قياس الجرعات الإشعاعية: الكواشف والمقادير

الفصل II

قياس الجرعات الإشعاعية: الكواشف والمقادير

1.II. المقدمة

لمجال قياس الجرعات دورا رئيسيا في علم قياس الإشعاع المؤين. حيث يهدف إلى تحديد كمية الطاقة التي نم ترسيبها (المودعة) لكل وحدة كتلة، كذلك لتحديد كمية الإشعاع الموجودة في مكان ما أو التي تم تطبيقها على شخص معين، بالإضافة إلى تقديم تقدير ما يعادل الجرعة المكافئة و الجرعة الفعالة. في هذا الفصل قمنا بتعريف الكميات والمقادير الفيزيائية والجرعات الرئيسية والوحدات المستخدمة في قياس الجرعات و مقاييس الجرعات الثلاثة الرئيسية للتلألؤ.

2.II. المقادير المستخدمة في الوقاية من الإشعاع و قياس الجرعات (Quantities used in radiation protection and dosimetry)

1.2.II. المقادير الفيزيائية و قياس الجرعات (Physical and dosimetric quantities)

1.1.2.II. تدفق الجسيمات (Particle Flow) :

يمكن تعريف تدفق الجسيمات بأنه هو عدد الجسيمات dN على dN،حيث dN هو عدد الجسيمات المقطوعة خلال فترة زمنية dt[1]:

2.1. 2.II. تدفق الطاقة (Energy flow)

بتم تعريف تدفق الطاقة على أنه حاصل قسمة dE على dt، حيث dE هي طاقة الجسيمات الواردة ، dt الفاصل الزمني ووحدته W أو J.s⁻¹ [2] :

II. 3.1.2. معدل سيولة الجسيمات (Particle fluence and particle fluence rate):

السيولة المعبر عنها ب ϕ هي حاصل قسمة dN على da ، حيث dN هو عدد حاصل قسمة الجسيمات الواردة على وحدة السطح da [,31].

معدل سيولة الجسيمات (كثافة التدفق) ($m^{-2}s^{-1}$ هو حاصل قسمة $d\phi$ على dt; حيث $d\phi$ هي سيولة الجسيمات eta هو الفاصل الزمني [2]:

II. 4.1.2. معدل سيولة الطاقة (Energy fluenceand energy fluence rate):

سيولة الطاقة هو حاصل قسمة dE على ;da حيث dEهي طاقة الجسيمات الحادثة و da وحدة السطح[1]:

و يمكن أيضا أن يحسب معدل سيولة الطاقة لإنبعاثات الجسيمات باستخدام العلاقة التالية [3]:

E حيث E هي طاقة الجسيم و dN عدد الجزيئات ذات الطاقة E

dt يتم تعريف معدل سيولة الطاقة على أنه حاصل $d\Psi$ على dt; حيث $d\Psi$ هو زيادة سيولة الطاقة و dt الفاصل الزمني[1]:

وحدة تدفق سيولة الطاقة هو W.m-² أو J.s⁻¹.m⁻² .

Energy imparted). الطاقة المنقولة (Energy imparted):

يتم تعريف الطاقة المنقولة إلى المادة في هذا الحجم:

Rin هي الطاقة المشعة التي تدخل الحجم. Rex هي الطاقة المشعة التي تخرج من الحجم. Q∑هو مجموع كل التغيرات في طاقة الكتلة للنواة و الجزيئات التي تنتج من جميع التحولات التي تحدث في الحجم [2].

6. 1.2.II. الطاقة المودعة (Energy deposited):

يتم تعريف الطاقة المودعة في حجم معين بأنها مجموع جميع الطاقات المنقولة في هذا الحجم [4]:

Absorbed dose and absorbed dose الجرعة الممتصة Absorbed dose and absorbed dose (د الجرعة الممتصة ate) (Absorbed dose and absorbed dose

الإشعاع المنبعث من المواد المشعة يتفاعل مع المادة في y عن طريق التخلي عن الطاقة . تسمى كمية الطاقة المنقولة بالجرعة الممتصة . ترتبط الجرعة الممتصة بكميات عشوائية من الطاقة المنقولة [5,1] في بيئة تتعرض للإشعاعات المؤينة ، الجرعة الممتصة D عند نقطة معينة تعطى بالعلاقة التالية [8.11]: حيث € d هو متوسط الطاقة المنقولة بالإشعاع المؤين dm; وحدة كتلة لحجم الإنتهاء[1]. وحدة الجرعة الممتصة هي غراي ,(Gy) و Gy يعادل 1 جول لكل كيلو غرام: .1Gy = 1J.kg⁻¹[20]

معدل تدفق الجرعة الممتصة \dot{D} هو حاصل dt على dt حيث db هي زيادة الجرعة الممتصة dt وth الفاصل الزمني [4.11]:

وحدتها هي الجول للكيلو غرام الواحد في الثانية $(J.kg^{-1}.s^{-1})$ أو غراي على الثانية $(Gy.s^{-1})$.

8.1.2.II. الكيرما و تدفق الكيرما (KERMA and KERMA rate):

يتم إستخدام الكير ما (إصدار الطاقة الحركية لكل وحدة كتلة) في حالة الإشعاع المؤين بشكل غير مباشر (إستخدام الكير ما إصدار الطاقة الحركية لكل وحدة كتلة) هو مجموع الطاقات الحركية (Xالنيترونات γ,)[6]. و الكير ما هو حاصل dE_{tr} على ;dm حيث dE_{tr} هو مجموع الطاقات الحركية الأولية لجميع الجسيمات المشحونة و التي تطلقها الجسيمات المشحونة في حجم الكتلة dm :

وحدة الكيرما هي غراي (Gy) : $1 = 1 j.kg^{-1}$. تدفق الكيرما هو حاصل dK على ;dt حيث dK هي زيادة الكيرما , و dt هو الفاصل الزمني [4.II]:

وحدتها هي الجول للكيلو غرام الواحد في الثانية (J.kg⁻¹.s⁻¹) أو غراي على الثانية (Gy.s-¹) .

Protection Quantities). مقادير الحماية (2.2.II

وفقا للهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (IICRP) تعريف كميات الحماية و الجرعة المكافئة و الجرعة الفعالة ساهمت بشكل كبير في الحماية الإشعاعية كما سمحت لإضافة جرعات من التعرض لجزء أو كامل الجسم إلى مختلف أنواع الإشعاع الخارجي و النويدات المشعة المدمجة [9]. تأثير الإشعاع على الكائنات الحية يعتمد على الجرعة الممتصة في الأنسجة ، لكن أيضا طبيعة الإشعاع و حساسية الأنسجة أو الأعضاء الظاهرة ،أنظر الشكل (5.II).



الشكل (1.II): العلاقة بين الجر عات، الجر عة الممتصة، الجرعة المكافئة و الجرعة الفعالة .

Equivalent dose). الجرعة المكافئة (Equivalent dose)

الجرعة المكافئة هي الجرعة التي تمتصها الأنسجة T أو العضو [7]، هذه كمية تحسب بالعلاقة التالية :

W _R	نوع الإشعاع	
1	الفوتونات و الإلكترونات و الميونات من جميع الطاقات	
أنظر الشكل (2. II)	النيترونات	
2	البروتونات	
20	جسيمات ألفا، الأيونات الثقيلة	

 $E = \Sigma$

الجرعة الفعالة



Effective dose). الجرعة الفعالة (2.2.2.II

الجرعة الفعالة هي مجموع الجرعات المكافئة الموزونة , يتم إرسالها إلى مختلف أعضاء وأنسجة الجسم عن طريق التشعيع الداخلي و الخارجي; تعطى بالعلاقة التالية [8;11]:

ΣW_T	W_T	الأنسجة
0.72	0.12	نخاع العظم القولون الرئتين المعدة الثدي الأنسجة المتبقية
0.08	0.08	الغدد التناسلية
0.16	0.04	المثانة, المريء, الكبد, الغدة الدرقية.
0.04	0.01	سطح العظام, الدماغ, الغدد اللعابية, الجلد.

Operational Quantities) المقادير العملية .3.2.II

وفقا ل IICRP في عام 1985, يتم إستخدام المقدير العملية لتقييم الجرعة الفعالة أو متوسط الجرعات المكافئة في الأعضاء أو الأنسجة . يتم إستخدام أنواع مختلفة من المقادير العملية للتعرضات الداخلية و التعرضات الخارجية [9].

تستخدم المقادير العملية لرصد المحيط و المراقبة الفردية للتعرض الخارجي.

Ambient Dose Equivalent) الجرعة المحيطة المكافئة (Ambient Dose Equivalent)

مكافئ الجرعة المحيطة ، (10) * H ، هو المقدار العملي لرصد المنطقة. وهي الجرعة المكافئة لنقطة في مجال الإشعاع يتم إنتاجها بواسطة المجال الموسع والمحاذاة المقابل في مجال قطر ه 30cm من إشكالية كثافة الوحدة (ICRU-sphere) على عمق d =10 mm على شعاع يواجه إتجاه الحقل أحادي الإتجاه[2:21].

II. 2.3.2 الجرعة الإتجاهية المكافئة (TheDirectional Dose Equivalent)

الجرعة مكافئة الإتجاه (d,Ω) 'H عند نقطة في مجال الإشعاع هي الجرعة المكافئة التي يتم إنتاجها من خلال الحقل الموسع المقابل في مجال ICRU على عمق d وعلى نصف قطر وفي إتجاه محدد Ω. العمق الموصى به هو mm 0.07 و يمكن كتابتها (0.07,Ω)'H [12].

3.3.2.II. المقادير العملية للرصد الفردي (PracticalQuantities of individual monitoring)

الجرعة الفردية , Hp(d) و هو ما يعادل الجرعة في الأنسجة (اللينة) من ICRU عند عمق مناسب d = 10 mm و d = 10 mm بعمق Hp(10) بعمق Hp(10) بعمق d = 10 mm لتقييم الجرعة الفعالة يتم إختيار (10) Hp بعمق d = 0,07 لتقييم الجرعة الفردية (10) Hp(0.07) على عمق Hp(0.07) و d = 0,07 لتقييم الجرعة الفردية (10) Hp(0.07) على عمق Hp(0.07) و mm و قد أقترح إستخدام عمق mm و 3 mm و قد أقترح إستخدام مقياس الجرعات المحمولة على سطح الجسم . (10) Hp(0.07) و mm من كاشف مغطى بسمك من الجرعات المحمولة على مطح الجسم . (10) من Hp(0.07) و 12;9].

(Dose Limits). حد الجرعة (4.2.II

تمثل حدود جرعة الإشعاع الحد الأقصى المطلق للجرعة التي يمكن أن يتلقاها الشخص أو العضو خلال عام. حدود الجرعة أقل بكثير من جرعات العتبة المطلوبة للتأثيرات الحتمية ، وبالتالي فإن الهدف من حدود الجرعة هو الحد من خطر حدوث تأثيرات عشوائية.

وحدة القياس لحد الجرعة هي السيفرت (Sv) ، وهي وحدة مكافئة للجرعة[11].

العامة (mSv/an)	(mSv/an) العمال	نوع الحد
1	20	الجرعة الفعالة
		الجرعة المكافئة :
15	150	بلوري
50	500	بشرة

جدول (3.II) :حدود الجرعة الموصى بها من طرف ICPR'


الشكل (2.II) يلخص العلاقات بين المقادير المختلفة المستخدمة في قياس الجر عات و الحماية من الإشعاع .

الشكل (3.11): العلاقة بين المقادير المختلفة المستخدمة في الحماية من الإشعاع و قياس الجر عات.

Dosimeters of ionizing الإشعاع المؤين (كواشف) الإشعاع المؤين natiation) radiation)

مقياس الجرعات الإشعاعية هو جهاز أو نظام يستخدم للتقييم أو القياس، بشكل مباشر أو غير مباشر، للكميات المطلوبة للحماية من الإشعاع مثل التعرض، الكيرما، الجرعة الممتصة أو الجرعة المكافئة [13]. يتم استخدام نوعين من مقاييس الجرعات لتطبيقات الحماية من الإشعاع :

مقاييس الجرعات (الكواشف) السلبية و مقاييس الجرعات النشطة أو العملية. النوع الأول يعطي الجرعة الممتصة متكاملة خلال فترة زمنية بينما يقيس النوع الثاني الجرعة الممتصة في الوقت الحقيقي[14].

1.3.II. الظواهر الفيزيائية في كواشف الإشعاع Physical phenomena in) dosimter)

1.1.3.II. التلألؤ (اللمعان) (Luminescence

التلألؤ هو ظاهرة فيزيائية تتمثل في انبعاث الضوء بواسطة الذرات أو الجزيئات من المواد التي امتصت الإشعاع. يكون الإلكترون في حالته الأساسية عندما يكون في أدنى مستوى للطاقة، تدعى هذه الأخيرة بالحالة المستقرة [7]. يمكن أن يكون إما إسفار أو تفسفر (وميض فسفوري) كما يعرف كذلك باسم الوميض المتأخر. عموما يطلق على التلألؤ تحت تأثير الضوء بالتلألؤ الضوئي، تحت تأثير القصف الإلكتروني باللمعان الكاثودي ، تحت تأثير حقل كهربائي بالتلألؤ الكهربائي و تحت تأثير الضوء الكون أو تعسفر (ميض فسفوري) ما يعرف كذلك باسم الوميض المتأخر. عموما يطلق على التلألؤ تحت تأثير الضوء بالتلألؤ الضوئي، تحت تأثير القصف الإلكتروني باللمعان الكاثودي ، تحت تأثير حقل كهربائي بالتلألؤ الكهربائي و تحت تأثير تحولات كيميائية باللمعان الكيميائي.

أ. الإسفار (Fluorescence)

التلألؤ الذي يتوقف فورًا تقريبًا عن اختفاء الإثارة الضوئية الإسفار، هو ظاهرة امتصاص الطاقة من قبل الإلكترون فيصبح في حالة مثارة غير مستقر، حيث تبقى لحظة قصيرة فقط في هذه الحالة قبل العودة إلى المدار الأساسي وذلك عن طريق إصدار فوتون طاقته تساوي الفرق بين المدار المثار و الأساسي. عموما الإسفار يرجع إلى مرور الذرات والجزيئات والأيونات من الحالة المثارة إلى الحالة الطبيعية.

ب. التفسفر (الوميض الفوسفوري) (Phosphorescence)

التلألؤ الذي يستمر وقتًا ملحوظًا بعد توقف الإثارة الضوئية بالتفسفر (الوميض الفوسفوري) يختلف عن الوميض، وذلك بدلا من العودة مباشرة إلى حالة المستقرة, فهناك إمكانية وقوع الإلكترون في حالة متبدلة الاستقرار والبقاء هناك لفترة من الوقت [11]. عموما التفسفر مشروط بوجود حالات مثارة ثابتة من الذرات والجزيئات بحيث يصبح مرورها إلى الحالة الطبيعية أمرًا صعبًا بسبب قواعد الاختيار. لا يمكن الانتقال من الحالة المستقرة إلى الحالة الطبيعية إلا في حالة الإثارة التكميلية (الإثارة الحرارية ، على سبيل المثال).

(Thermoluminescence (TL)) الحراري (2.1.3.II

هو ظاهرة فيزيائية تترجم خاصية بعض البلورات ، التي تصدر الضوء عند تسخينها وذلك بعد تعرضها للتشعيع. يتم تفسير هذه الظاهرة (TL) من خلال البنية المشوهة (المشوبة) للبلورات التي تحتوي دائمًا على عدد كبير من العيوب.

Radio-luminescence) الضوئي (3.1.3.II

يمكن تفسير التلألؤ الضوئي على أنه ظاهرة تأثير التخزين, لأنه يقوم بتخزين الجرعة الواردة. يمكن قياس التلألؤ الضوئي في الوقت الحقيقي,و تستعمل كميته في قياس معدل الجرعة الممتصة وتقدير للجرعة التراكمية الناتجة عن التشعيع. أثناء الشعيع تنتقل الإلكترونات البلورية من حزمة التكافؤ (BV) إلى حزمة التوصيل (BC) ثم يتم إعادتها عن طريق الإثارة بشعاع آخر إلى حزمة التكافؤ مما يؤدي إلى انبعاث لمعان RL [15].

Luminescence dosimeters). كواشف التلألؤ (Luminescence dosimeters

أجهزة كشف التلألؤ هي مواد، بعد التعرض لإشعاع مؤين، تصدر ضوء منبعث تتناسب كميته مع كمية مع أجهزة كشف التلألؤ هي مواد، بعد التعرض لإشعاع مؤين، تصدر ضوء منبعث تتناسب كميته مع كمية الإشعاع المؤين. هناك ثلاثة أنواع من كواشف التلألؤ: الكواشف الحرارية (TLDs) كواشف التحفيز البصري (OSLDs) وكوشف التحفيز الضوئي (RPLD) [16; 17].

مقاييس الجرعات اللامعة حساسة مثل جميع أنظمة قياس الجرعة الأخرى لهذا يجب تجنب تعريضها لمصادر الحرارة و الضوء و التي تسبب أخطاء في تقييم الجرعات التي يتلقاها الشخص .

1.2.3.II المبدأ الفيزيائي للمعان (Physical Principel of luminescence)

في بلورة الكاشف تحتل الإلكترونات عددا من مستويات الطاقة المنفصلة مقسمة إلى نطاقات مسموح بها مفصولة بنطاقات محطورة. في بلورة كاملة لا يمكن للإلكترونات أن تشغل أي مستوى طاقة في فجوة النطاق (BL). الصفر المطلق يعني أن تكون طاقة الإلكترونات ضئيلة. حزمة التوصيل (BC) تكون فارغة وبذلك تكون حزمة التكافؤ معبئة (BC).

بعد الإثارة يمكن لإلكترون من حزمة التكافؤ الانتقال إلى حزمة التوصيل وذلك بعد الحصول على طاقة مساوية لعرض حزمة الفجوة على الأقل حيث يصبح الإلكترون حرا و يتحرك في البلورة .

ويتجلى إدخال الشوائب الكيميائية أثناء تركيب المنتج من قبل وجود عيوب في البنية البلورية. تتضاءل دورية البلورة و يتم إنشاء مستويات الطاقة في فجوة النطاق، حيث تقع بعض هذه العيوب في حزمة التكافؤ لتشكيل للثقوب. الثقوب هي الفجوات الإلكترونية التي تتصرف مثل الجسيمات الكهربائية الموجبة. يتم وضع الإلكترونات في محيط شريط التوصيل و تسمى مصائد للإلكترونات، بالنسبة لكل من الفجوات و الثقوب و الفتحات الإلكترونية فهي تلعب دور مراكز إعادة التركيب. أي شائبة قادرة على التقاط إلكترون أو ثقب تدعى مركز اصطياد أو فخ.

لا يمكن تفسير ظاهرة التلألؤ إلا إذا كانت مستويات الطاقة متبدلة الاستقرار وذلك ناتج عن عيوب التشكيل وهو ما يعرف بالتطعيم أو التشويه. في هذه الحالة ، أي عودة مباشرة من الإلكترون (أو ثقب) إلى حالته الأصلية فهو ممنوع.



الشكل (4.II): المبادئ الأساسية لعملية OSL ، TL و OSL [17].

تشعيع البلورة له تأثير في إنتاج إلكترونات مثارة من حزمة التكافؤ (BC)فتنتقل إلى حزمة التوصيل(BC). جزء من هذه الإلكترونات المتداولة في حزمة التوصيل يعود إلى الحالة الأساسية، بينما يتم إلتقاط الجزء الأخر بواسطة الفجوات [18;19;20;21;22] .

يوضح الشكل (3.II) المبدأ الفيزيائي للتلألؤ، عندما يكون الإشعاع المؤين يولد أزواج الإلكترون-ثقب، هذه الإلكترونات و الثقوب تصبح عالقة في عيوب T_s و H. المصيدة T_s تمثل فخا غير مستقر، و من هنا يكون احتمال الهروب كبير، و T_t هو فخ لتخزين الإلكترونات حيث احتمال الهروب (دون تحفيز خارجي) غير وارد ولا يكاد يذكر. عن طريق تحفيز العينة حراريا (TL)، بصريا (OSL) أو بالأشعة فوق البنفسجية (UV)، تكتسب الإلكترونات طاقة كافية للهروب من الفخ وتتحد مع الثقوب في مراكز إعادة التركيب R ثم يليها انبعاث للضوء كميته تتناسب مع كمية التشعيع (F_f هو مستوى فيرمي)[71].

Thermoluminescence dosimeter) (TLD) (TLD) (عاليس الجرعات الحرارية الوميضية (Thermoluminescence dosimeter)

هو انبعاث الضوء من المادة التي تعرضت للإشعاع المؤين بعد عملية التسخين. ينتج هذا الضوء عن إطلاق الإلكترونات المثارة عندما تم تشعيع المادة، مقدار الضوء الذي يتم إطلاقه يرتبط ويتناسب مباشرة بجرعة الإشعاع التي تتلقاها المادة. العلاقة بين الإشارة الناتجة والجرعة المكافئة المراد قياسها تحدد عن طريق المعايرة. تستخدم هذه الظاهرة لقياس الجرعات الممتصة أثناء التشعيع، حيث يستعمل مضخم للانبعاث الضوئي أثناء عملية التسخين. المنحنى الذي يمثل اللمعان المنبعث بسبب درجة الحرارة (عملية التسخين) يسمى "طيف درجة الحرارة". شكل منحنى الوميض الحراري يعتمد على نوع و كمية الشوائب و العيوب الموجودة في المادة و كذلك التاريخ الحراري و معالجة المواد. الأنبوب المضخم للانبعاث الضوئي له حساسية عالية، نسبة عالية لمعامل الإشارة /الضوضاء و نطاق ديناميكي مهم. يتم استخدام (تترجم) مساحة السطح أسفل منحنى الوميض الحراري لقياس الجرعة الممتصة. يتم تفريغ المواد الحرارية من خلال عملية النظرة أنناء (عملية التسخين) و من ثم تصبح جاهزة للاستعمال من جديد (بعض المواد تحتاج للتادين قبل أن يتم إرجاعها إلى التداول)

OSL)(Optically stimulated). مقاييس الجرعات اللامعة المحرضة ضوئيا OSL)(Optically stimulated). (OSL)

الكواشف المستعملة في قياس التلألؤ بطريقة التحفيز البصري ,(OSLD) تستخدم مواد مثل أكسيد الألمنيوم المطعم بالكربون (Al₂O₃:C)، هي العوازل التي تحتوي على شوائب توجد بمستويات طاقتها بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل (الحزمة الممنوعة) . الطاقة التي تعرضت لها المادة المنشطة أثناء الإثارة أو التشعيع ، تتسبب باحتجاز الإلكترونات و الثقوب على مستويات الفخاخ المرتبطة بهذه الشوائب [25]

يعتمد مبدأ OSLعلى إستخدام مصدر التحفيز البصري للحصول على إشارة اللمعان (التلألؤ). بسبب الشوائب المختارة والتي يتم إدخالها للمادة، يؤدي التحفيز البصري إلى ظاهرة التلألؤ. هذه الشوائب تقع في الحزمة الممنوعة من مستويات الطاقة للمادة حيث تسمح للملائمة و إعادة تجميع الشوائب الراسبة.

يمكن اعتبارقياس الجرعات على أنه قياس الطاقة المخزنة في الكاشف بعد التعرض للتشعيع. القراءة تتم عن طريق إرسال ومضة قصيرة من الضوء لمادة الكاشف (مثل Al₂O₃:C)، وبسبب الإثارة الخفيفة، يتم إطلاق الإلكترونات المحاصرة بواسطة ذرات الكربون، وتتم إعادة الطاقة المخزنة في شكل دفعة من الضوء على شكل تلألؤ. هذا لأخير تتناسب شدته مع عدد الإلكترونات المحاصرة في الحزمة الممنوعة وبدور ها تتناسب مع الجرعة الممتصة المراد قياسها.

الحصول عن اللمعان يكون باستعمال وميض ضوء الليزر، حيث يمكن التحكم في كثافة و مدة مصدر التحفيز بسهولة. يتم تخزين جزء كبير جدا من المعلومات في المستشعر. بخلاف TLD حيث يتم إفراغ الفخاخ تماما، يسمح التحفيز البصري في كاسف OSL بإعادتها مرة أخرى [1;26].

4.2.3.II د مقياس الجرعة الشعاعية (RPL dosimeter Radiophotoluminescence)

يستند اللمعان الضوئي على تشكيل مراكز الإنارة التي تتكون من زجاج الفوسفات المطعم بالفضة عندما تتعرض المادة للإشعاع المؤين . ثم تتعرض النظارات إلى الأشعة فوق البنفسجية و هو ضوء مرئي له شدة يرتبط خطيا بالجرعة الممتصة بسبب الإشعاعات المؤينة و ينبعث على عكس اللمعان الحراري ، لا يتم تدمير أثار الإشعاعات المؤينة في المراكز، عملية القراءة عادية و مستقرة للغاية، بحيث تأثير درجة حرارة المحيط لا يكاد يذكر، يتميز هذا الكاشف بإمكانية الحصول على المعلومات ولو بعد سنوات من قياس الجرعة الأولى في أي وقت حيث تتم عملية تراكم الجرعة على المدى الطويل.

يمكن تصنيع زجاج الفوسفات على نطاق واسع بشكل جيد واستنساخ حساسية ثابتة، و نتيجة لذلك فإن معايرة أجهزة الكشف الفردية ليس ضروريا. استخدام الماسحات الضوئية فوق البنفسجية النبضية المتاحة في السوق أدى إلى تقليل القراءة الظاهرة "قبل الجرعة" للزجاج الذي لم يتعرض للتشعيع إلى قيمة حوالي mSv 10. هذا يزيل بعض عيوب تقنية القراءة القديمة، الذي يتطلب تنظيف الزجاج و الطرح من الجرعة المسبقة للقياس في حالة الجرعات الأقل من mSv.

تم إستخدام مقاييس الجرعات لزجاج الفوسفات بشكل شائع للتحكم في التدبير الإشعاعي الفردي و البيئي من خلال استعماله في حساب (10) H_p (0,07) و H_p.وتشمل إجابيات مقاييس الجرعات الضوئية التكامل الدائم و معلومات طويلة الأجل عن الجرعات المودعة في المادة و الدقة العالية مع إمكانية تكرار قياس الجرعات إذا لزم الأمر [24].

Glass formaccordingto. هيكل الزجاج وفقا لـ زاكريازن Glass formaccordingto) (Zachariasen

الفرق الطاقوي بين زجاج وكريستال من نفس التركيب صغير جدا. إفترض Zachariasen أن نفس الروابط أو الأنماط البنيوية موجودة في كل المواد: هو SiO4 رباعي الأسطح على سبيل المثال في زجاج سيليكات. لكن التصرف في هذه السطوح الرباعية في الفضاء يختلف اختلافا كبيرا من مادة إلى أخرى [28;27;26] (الاتجاه النسبي للجسم المتعدد الوجوه المتغير في الزجاج و الذي سيزيد عدم تواتر الهيكل). في عام 1932 قام بصياغة نموذج يقوم على مفهوم النظرية البلورية وفرضية هيكل زجاجي عام معرم و منه المرورة في كل معرم و النورية وفرضية معرم و معلى معرم و المتغير في الرباعية و الذي سيزيد عدم تواتر الهيكل). مستمرة و غير منتظمة بشكل كامل.

الاختلافات في الهياكل بين الزجاج و الشكل البلوري لأكسيد A₂O₃ الذي يشكل بلورات ثنائية الأبعاد مبين في الشكل (4.**II**). كلا الشبكتين تتكون من مثلثات AO₃مر تبطة ببعضها البعض من خلال القمم، و الفرق الوحيد هو أن الزاوية A-O-A ليست ثابتة في الزجاج .



ا**لشكل (5.II):**تمثيل تخطيطي مسطح للهيكل.

(a) من مركب بلوري افتراضي (b)، A₂O₃ من الشكل الزجاجي لهذا المركب [28]

Chemical characteristics of the) الخصائص الكيميائية لأيونات الفضة (silver ions)

يصنع كاشف اللمعان الضوئي من زجاج الفوسفات المطعم بالفضة. عدد أيونات الفضة ترتبط بمستويات الطاقة في مراكز التلألؤ و عدد الفخاخ الإلكترونية. عدد الفخاخ الإلكترونية يزيد مع تزايد عدد الأيونات الفضية. لكن العدد المفرط من الأيونات الفضية تقلل من كفاءة إختراق اليزر فوق البنفسجي

الفصل الثاني

النبضي و تزيد من الإعتماد على الطاقة. لذلك، مطلوب نسبة مناسبة من أيونات الفضة للحصول على أفضل كفاءة للمعان و الإثارة[29].

Radiophotoluminescent glasses RPLGD). زجاج اللمعان الضوئي (Radiophotoluminescent glasses RPLGD)

يؤدي التعرض للإشعاع المؤين إلى إدخال عدد من التغييرات في خصائص الزجاج المطعم بالفضة[30]. يمكن أن تكشف عن ظاهرة إنشاء مراكز التلألؤ التي تلعب دورها الجزيئات كمصائد للإلكترونات المثارة. هذا الزجاج ينبعث منه وميض ضوئي بعد التشعيع ناتج عن الإثارة بالأشعة فوق البنفسجية. هذه الظاهرة معروفة باسم (Radio-Photo-Luminescense(RPL.

ينقسم اللمعان إلى ظاهرتين: الوميض والوميض الفسفوري، الوميض الفسفوري هو الاضمحلال في الحالة الأساسية ويكون أطول بكثير من ظاهرة الوميض. عملية التلألؤ (اللمعان) في RPL هي الوميض. يتم تعريف الوميض على أنه لمعان، حيث يستمر اللمعان بإستمر ار الإثارة بالأشعة فوق البنفسجية.



الشكل (6.II): مبدأ الإشعاعية الشعاعية في زجاج الفوسفات المطلى +Ag [30].

بعد إثارة مراكز اللمعان بواسطة طيف الليزر (UV) عند طول موجة محدد، يلاحظ طيف انبعاث وميضي. يمكن إعادة استخدام مقاييس الجرعات بعد عملية التدلين. بعد حوالي ثلاثين دقيقة من التدلينعند 400 درجة مئوية يتم إفراغ الجرعات عن طريق تحرير مصائد الإلكترونات مرة أخرى إلى حزمة التكافؤ[21].

3.4.II. مراكز التلألؤ في (RPLLuminescence centers in RPL)

يتكون كاشف اللمعان الضوئي(RPLD) من القاعدة الزجاجية بالإضافة إلى أيونات الفضة (⁺ Ag) و الفوسفات (³-PO). يتمثل دور هذه الأيونات في توطين عيوب الشبكة البلورية لمادة الجرعة المراد قياسها. الإشعاع المؤين يجعل الإلكترونات حرة في المادة، نتيجة لذلك يتم إصطياد الأزواج إلكترون – فجوة بواسطة ⁺Ag و ³-PO4، ويؤدي ذلك إلى إنشاء مراكز التلألؤ المستقرة (⁺⁺Ag⁰, Ag)، التي يتم تعريفها في فخ الإلكترون [31].

$$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag^0$$

$$Ag^+ + hPO_4 \longrightarrow PO_4 + Ag^{++}$$



الشكل (7.II): ألية تشكيل مراكز التلألؤ [4].

عند إشعاع الزجاج الفوسفاتي الفضي المنشط تبدأ مراكز التلألؤ في التشكل ومع ذلك لا يظهر تشكيل هذه المراكز فورا، لأن بعض الإلكترونات عالقة في مصائد غير فعالة لذلك فهي لا تنتج أي لمعان، في المقابل مراكز التلألؤ المستقرة قادرة على امتصاص وإطلاق الطاقة، حيث يتم استخدام هذه الظاهرة كمبدأ في نظام القارئ للجرعات. عندما يتم إشعاع مراكز التلألؤ عن طريق الليزر البنفسجي النبضي 340 – 270 nm تكون الإلكترونات المثارة في حالة طاقة أعلى. فتعود المراكز إلى مستوى طاقة مستقر مع انبعاث ضوء (420-700 nm) المعروف باسم وميض. تقاس شدة الوميض باستخدام نظام مضخم لأشعة الوميض الناتج،

5.II. الخاتمة :

هذا الفصل قدم لنا معلومات عامة على أحد أهم أنظمة الكشف الإشعاعي وهي كواشف التلألؤ. حيث تم التطرق في البداية إلى أهم المقادير الفيزيائية و مقادير الوقاية من الإشعاع، بعد ذلك تم التطرق للمبدأ الفيزيائي لكواشف التلألؤ ثم إلى أهم أنواعها، توجد ثلاثة أنواع رئيسية - مقاييس الجرعات الحرارية الوميضية (TLD) - مقاييس الجرعات اللامعة المحرضة ضوئيا (OSL) - مقياس الجرعة الشعاعية (RPL) وحيث تم ذكر خصائص كل كاشف و أهم مميزاته و عيوبه و مجالات استخداماته.

مراجع الفصل]]

[1] E.B. Podgorsak " Review of Radiation OncologyPhysics: A Handbook for Teacher and Students", Vienna: Technical Editor, IAEA, 2005.

[2] D.R. Dance et al" Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students Vienna: Technical Editor, IAEA, 2014.

[3] C. Moignier "Dosimétrie des faisceaux de photons de petites dimensions utilisés enradiothérapie stéréotaxique ", Thèse de doctorat, Universite paris-SUD,2014.

[4] Y. Ould Salem" Etude expérimentale et modélisation Monte Carlo des grandeur

opérationnelles en métrologie des rayonnements ionisants : application à la dosimétrieneutrons par radiophotoluminescence " Thèse de doctorat, Université de Strasbourg,2014.

[5] C. Bassinet" datation par luminescence : recherches méthodologiques et applicationsau volcanisme dans l'environnement de laschamp", Thèse de doctorat, Université blaise pascal,2007.

[6] M. Vanstalle"Dosimétrie électronique et métrologie neutrons par capteur CMOS à pixels actifs", Thèse de doctorat, Université de Strasbourg,2011.

[7] O. ROY" Etude de la lu min ce stimulée optiquement (OSL) pour la détection derayonnements :application à un capteur à fibre optique de rayonnement y" RAPPORT CEA-R-5806.1998.

[8] "Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), Introduction to Radiation", (December 2012).

[9] J. Nénot, J. Brenot, D. Laurier, A. Rannou et D. Thierry. Publication 103 de la ICRP.Recommandations 2007 de la commission internationale de protection radiologique,2007.

[10] S. Mattson, M. Söderberg, "Dose Quantities and Units for Radiation Protection ",Radiation Protection in nuclear Medicine, Matsson, S, Hoeschen, C, (Eds.), VIII, 168 p, Hardcover ISBN: 978-3-642-31166-6, (2013).

[11] C. Jimonet et H. Métivier, "Personne compétente en radioprotection Principes de radioprotection- réglementation", EDP Sciences 2007.

[12]International Commission on radiation Units and Measurements. Determination of opérational dose equivalent for neutrons. ICRU report 66, 2001.

[13] E.B. Podgorsak "Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students", Vienna: Technical Editor, IAEA, 2005.

[14] E. Spasic" Dosimétrie in vivo intracavitaire basée sur La Luminescence StimuléeOptiquement De l'Al2O3 :C dédiée à la curiethérapie", Thèse de doctorat, Université de Lorraine,2012.

[15] P. Olko"Advantages and disadvantages of luminescence dosimetry" Radiation Measurements 45pp 506–511(2010)

[16] ZeljkaKnezevic, Liliana Stolarczyk, Igor Bessieres, Jean Marc Bordy. Photo dosimetry methods outside the target volume in radiation therapy: Optically stimulated luminescence (OSL)thermoluminescence (TL) and radiophotoluminescence RPL dosimetry. Radiation Measurements 57 pp9-18(2013).

[17] E. Antonio et al "Thermoluminescent Dosimeter Use for Environmental Surveillanceat the Hanford Site, 1971–2005", the U.S. Department of Energy under Contract DEAC05-76RL01830. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352.2010.

[18]R. Clark" Intrinsic Dosimetry: Properties and Mechanisms of Thermoluminescence inCommercial Borosilicate Glass", the U.S. Department of Energy under Contract DEAC05-76RL01830. Pacific Northwest National Laboratory Richland, Washington 99352.2012.

[19] G. portal" Etude et développement de la dosimétrie par radiothermoluminescence"Rapport CEA-R-4943, 1978.

[20] T. Yamamoto D. Maki, F. Sato "The recent investigations of radiophotoluminescence and its application"Radiation Measurements 46 1554e1559,2011.

[21]G. MARINELLO" thermoluminescence dosimetry applied to quality assurance inradiotherapy, brachytherapy and radiodiagnosticDepartement interhospitalier decancerologie, Service de radiotherapie. Centre hospitalouniversitaire, Créteil, France"pp267-280,1997.

[22]F.Abba et al "Datation par Thermoluminescence" Bull .Inst.Fr.Et .vol n03-4pp91-104,1976

[23] COLLECTION NORMES DE SÛRETÉ N° RS-G-1.3. Évaluation de l'exposition professionnelle due aux sources externes de rayonnements. AIEA, VIENNE, 2004.

[24] P. A. Jursinic" Characterization of optically stimulated luminescent dosimeters,OSLDs, for clinical dosimetric measurements" West Michigan Cancer Center, 200 NorthPark Street, Kalamazoo, Michigan 49007. Received 26 April 2007; pp4595-4604.2007.

[25] D. benoit, mise au point et évaluation d'un système fibré de dosimétrie en ligne utilisantdes matériaux phosphorescents stimulables optiquement application à la mesure de dose en radiothérapie et au monitoring de faisceaux, Thèse de doctorat, Université de Toulouse,2008.

[26] James barton et claude guillemet « le verre » science et technologie 2005.
[27] B.TIOUA " Etude Spectroscopique des ions trivalents de terre rares dans les verres Sb2O3-M2O" Thése de magister. centre universitaire d.E l-oued.2010.
[28]A. Baggas. état d'art des verres dopés aux ions terres rares pour les applications. Thése de magister. centreuniversitaired.E l-oued.2010.

[29] David Y.C. Huang and Shih-Ming Hsu. Radio Photoluminescence Glass Dosimeter(RPLGD), Advances in Cancer Therapy (2011), Prof. HalaGali-Muhtasib (Ed.), ISBN:978-953-307-703-1, InTech, Available from:http://www.intechopen.com/booksadvancesin-cancer-therapy/radio-photoluminescence-glass-dosimeterrplgd .

[30] A. BIAU" Les techniques de dosimétrie passive" Radioprotection Vol. 46, n° 5, pages S23 à S43,2011.

[31]Y. Miyamoto "Ionizing radiation sensor utilizing radiophotoluminescence in Ag+ -activated phosphate glass and its application to environmental radiation monitoring " Sensors and Materials, Vol.22, No.5 pp235-245, 2010.

الفصل الثالث المحاكاة بطريقة مونت كارلو

الفصل

المحاكاة بطريقة مونت كارلو

1.III. المقدمة

هذا الفصل يقدم عموميات على طريقة مونت كارلو مع أهم الرموز (كودات) التي تستعمل المحاكاة بهذه الطريقة، كما يقدم وصف تفصيلي لرمز المحاكاة MCNP5 الذي تم استعماله في هذا العمل.

طريقة "مونت كارلو" ظهرت في الأربعينيات من قبل العلماء "نيكو لاس مترو بوليس" و"ستانيسلاس أولام" العاملين في مشروع الأسلحة النووية في "لوس ألاموس" وذلك لتعيين فئة من الأساليب العددية القائمة على استخدام أرقام عشوائية [1].

(Monte Carlo Method) على طريقة مونت كارلو. (Monte Carlo Method)

تقنية مونت كارلو تستخدم على نطاق واسع الخوارزميات الحسابية لغرض نمذجة إحصائية لمختلف الظواهر الفيزيائية والرياضية [2].

يمكن استخدام طريقة مونت كارلو لتكرار عملية إحصائية من الناحية النظرية (مثل تفاعل الجسيمات النووية مع المواد) وهي مفيدة بشكل خاص للمشاكل المعقدة التي لا يمكن صياغتها بواسطة رموز الكمبيوتر و التي تستخدم أساليب حتمية. يتم محاكاة الأحداث الاحتمالية الفردية التي تشمل عملية بالتتابع. ويتم إحصاء التوزيعات الاحتمالية التي تحكم هذه الأحداث لوصف الظاهرة الكلية.

بشكل عام، يتم إجراء المحاكاة على جهاز كمبيوتر لأن عدد التجارب ضروري لوصف هذه الظاهرة بشكل كاف وأحيانا تكون كبيرة جدا، كما تعتمد عملية أخذ العينات الإحصائية على اختيار أرقام عشوائية. في نقل الجسيمات، تعتبر تقنية مونت كارلو واقعية بشكل بارز (تجربة عددية). في المحاكاة بطريقة مونت كارلو يتم متابعة كل جسيم من الجسيمات من المصدر طوال مساره حتى فنائه (الامتصاص ... الخ).

يتم أخذ عينات التوزيعات الاحتمالية بشكل عشوائي باستخدام بيانات النقل لتحديد النتيجة في كل خطوة من مراحل حياتها[3].

واحدة من أهم القضايا التي تحد من استخدام تقنيات مونت كارلو في حسابات الجرعة الممتصة هي مدة التنفيذ الطويلة اللازمة لتقليل التباين الإحصائي المرتبط بالجرعة المحسوبة في كل حجم تفاضلي [2].

1.2.III. أرقام عشوائية (Random numbers)

يمكن إنشاء أرقام عشوائية من خلال القيم المبنية على أساس الظواهر الفيزيائية. يواجه استخدام أجهزة الكمبيوتر لإنشاء هذه الأرقام العشوائية مشاكل التخزين واختبارات عدم التكاثر. يتم إنشاء أرقام شبه عشوائية للتغلب على مشكلة التكاثر عند إجراء سحب تلقائي للرقم العشوائي الأول، حيث يتم تحديد تسلسل الأرقام القابلة للتكرار. مولد الأرقام العشوائية له تأثير مباشر على دقة المحاكاة ويعتمد على صيغة التكرار التالية[45]:

 $X_n =$

حيث:≥n 0 و ≥ n 0 .

المعامل m: يتضمن قسمة إقليدية لـ (a.Xn-1 + c) بمقدار m. X0 : القيمة الابتدائية و هو الرقم المستخدم لإنتاج تسلسل عشوائي "البذور" : a: المضاعف $a \ge > m; 0$. a: المضاعف $a \ge > m; 0$. c) $:m(z \le a)$ c) $:m(z \le c)$ me 2N = 2 = 0 m = 2N = 2 = 0c) $:m(z \le c)$ c) $:m(z \le c)$

(2. III)

Monte Carlo Method vs.) طريقة مونت كارلو مقابل الطريقة الحتمية (Deterministic Method

تختلف طريقة مونت كارلو عن طرق النقل الحتمية للجسيمات. ومن أساليب النقل الحتمية الأكثر شيوعا طريقة التنسيق المنفصلة، حيث تحل معادلة النقل لسلوك الجسيمات المتوسطة. بخلاف ذلك تحصل طريقة مونت كارلو على إجابات من خلال محاكاة الجسيمات الفردية وتسجيل بعض الجوانب (عن طريق الحصر) لمتوسط سلوكهم.

الأساليب الحتمية عادة ما تعطي معلومات كاملة إلى حد ما (على سبيل المثال مقدار التدفق) خلال مسافة مرحلة العملية (الإشكالية المدروسة). أما طريقة مونت كارلو فتوفر معلومات فقط حول الإحصائيات المحددة التي يطلبها المستخدم. في الحد الإحصائي، تقترب هذه من معادلة النقل التفاضلية المتكاملة، والتي لها مشتقات بدلالة المكان (x, y, z) والزمان (t). على العكسمن ذلك ، تنقل طريقة مونت كارلو الجسيمات بين الأحداث (على سبيل المثال، التصادمات) التي يتم فصلها في المكان والزمان[3].

تتطلب طريقة مونت كارلو حاسب آلي (جهاز كمبيوترًا)، أما التقنيات الحتمية فلا يلزم تطبيقها دائمًا على حاسب آلي (جهاز كمبيوتر) حيث قد تكفي التحليلات الورقية. في طريقة مونت كارلو قد تستغرق الحسابات وقتًا أطول بكثير من النماذج التحليلية [6]. في الجدول أدناه تظهر مقارنة بين طرق مونت كارلو والتقنيات الحتمية.

33

·[=] *		3 (())
طرق مونت كارلو	التقنيات الحتمية	مصطلح
مضبوط	منفصل	1. علم الهندسة
مضبوط	منفصل	2. قسم معالجة الطاقة
مضبوط	سلسلة منفصلة / مقطوعة	3. اتجاه
بسيط	يختلف	4. إعداد المدخلات
صىغيرة/كبيرة	كبيرة	5. ذاكرة الكمبيوتر المطلوبة
طويل	قصير	6. وقت الكمبيوتر
الاحتمال الإحصائي	التقاء	7. مسائل رقمية
محدودة	كبيرة	8. كمية المعلومات
مهمل	مرکب	9. الحوسبة المتوازية

الجدول(1.111):مقارنة بين طرق مونت كارلو والتقنيات الحتمية[2].

(Transport of particles). نقل الجسيمات (3.2.III

مصدر الجسيمات المستعمل في هذا العمل هو مصدر إلكترونات، لذلك ركزنا بشكل أساسي على نمط (mode) تفاعل مادة-إلكترون. بالنسبة لتفاعل الإلكترونات مع المادة، عند مرور الإلكترون وسط المادة فهذا يؤدي لتصادم الإلكترون مع المدارات الإلكترونية أو مع النواة، يسمى هذا التفاعل بتفاعل كولوم (Coulomb). وفي كلتا الحالتين، يفقد الإلكترون الأولي (القادم من المصدر مباشرة) الطاقة كليا ويفنى حيث تسمى هذه الحالة بالموت المسجل. يتم تتبع الأحداث خطوة بخطوة وبالترتيب الزمني: أخذ العينات من من مع من المواذ في يوني أسمى من المادة فهذا ويفنى وسط المادة فهذا (كموني المصدر مباشرة) المحالين، يفقد الإلكترون الأولي (القادم من المصدر مباشرة) الطاقة كليا ويفنى حيث تسمى هذه الحالة بالموت المسجل. يتم تتبع الأحداث خطوة بخطوة وبالترتيب الزمني: أخذ العينات من متوسط المسار الحر، أخذ العينات من المقاطع العرضية التفاضلية والإجمالية، طبيعة التفاعل، الاتجاه وفقدان الطاقة بعد التفاعل. تبدأ هذه العملية مرة أخرى مع الجزيئات المتولدة حيث يتم تتبع الأحداث خطوة وبالترتيب الزمني أخذ العينات من وفقدان الطاقة بعد التفاعل. تبدأ هذه العملية مرة أخرى مع الجزيئات المتولدة حموة وبالترتيب الزمني. أكن الاتحاه وفقدان وفقدان الطاقة بعد التفاعل. تبدأ هذه العملية مرة أخرى مع الجزيئات المتولدة حيث يتم تتبع الأحداث خطوة وبالترتيب الزمني كما سبق.

(Transport of electrons) نقل الإلكترونات (1.3.2. III

على عكس الفوتونات، يمكن للإلكترونات التفاعل عدة مرات مع وسط الجزيئات التي عبرت خلال وقت معين، وبسبب أن الإلكترونات لديها خطوط المسار مقطوعة فهذا التفاعل يكون له تأثير، وهو ما يحدث عند خروج الإلكترونات من الجانب الآخر من مركز طاقات مختلفة تماما، ثم تتحرك الإلكترونات وقتًا طويلًا، مما يؤثر على طريقة محاكاة مونت كارلو، كما أنه يؤثر على حساب قياس الجرعات والإشعاع، لذلك يجب استخدام بعض المحددات للحفاظ على تقنيات المحاكاة والحصول على نتائج ذات دقة[7].

Main Monte Carlo) رموز محاكاة مونت كارلو الرئيسية (Simulation Codes

1.3.III. رمز PENELOPE

تم تطوير رمز PENELOPE ويعني PENELOPE من تم تطوير رمز PENELOPE ويعني PENEtration and Energy LOss of Positons and ويعني PENELOPE من قبل جامعة برشلونة ومعهد تقنيات الطاقة بجامعة كاتالونيا للفنون التطبيقية في برشلونة بالإضافة إلى جامعة قرطبة الوطنية. للعلم أنه تم نشر هذا الرمز (code) لأول مرة في 1996.

يقوم PENELOPE بالمحاكاة بطريقة مونت كارلو لمعالجة نقل الإلكترونات، وخاصة ذات الطاقات المنخفضة. في الأصل تم تطويره هذا الكود لنقل الإلكترونات ثم تم تمديده ليشمل الفوتونات. بالإضافة إلى ذلك ، يتمتع هذا الكود بقدرة جيدة على مراعاة الأشكال الهندسية المعقدة من خلال الجمع بين أحد عشر سطحًا تربيعيا أساسيا. يجب مقارنة هذه المزايا مع بطء الحسابات المتعلقة بالمعالجة التفصيلية لنقل الجسيمات المحملة والنقص الحالى في إصدار نسخة مماثلة لهذا الرمز لحد الآن[8,9,10].

GEANT4 رمز 2.3.III

يعتمد كود الهندسة و التتبع GEANT4 (GEometry And Tracking) GEANT4) على برمجة الموضوع الموجهة بلغة⁺⁺ D[11]. تم تطويره من قبل المجلس الأوروبي للبحوث النووية (CERN). الهدف هو تنفيذ عمليات محاكاة التجارب المختلفة الأكثر تعقيدًا لتحقيقها في الفيزياء الذرية. هذا الكود يحاكي وظيفة استجابة الكاشف بناءً على أنواع التفاعلات المختلفة. يمكن إجراء دراسات معمقة على أي تجربة مع مراعاة هندسة الجهاز التجريبي ، والمواد المستخدمة ، وتوليد الجزيئات الأولية والثانوية ورصدها خطوة بخطوة في الوسط المدروس. يستخدم GEANT4 في العديد من فروع الفيزياء: فيزياء الجسيمات ، والفيزياء النووية...[7].

EGSnrc رمز المحاكاة 3.3.III

هذا الكود يستخدم طريقة مونت كارلو للأغراض العامة لحساب جرعة الحماية من الإشعاع ، ومحاكاة النقل المزدوجي للفوتونات والإلكترونات والبوزيترونات ، بينما لا تؤخذ في الاعتبار الجسيمات الأخرى مثل البروتونات أو النيوترونات [12,13]ولهذا لديه ميزة أنه في تطوير هذه الرموز، تركز الاهتمام على الجسيمات ذات الاهتمام بالتخطيط لجرعة الحماية الإشعاعية.

4.3.III . رمز المحاكاة MCNP

رمز (Monte Carlo N-Particle) ومز محاكاة يستخدم طريقة مونت كارلو لمحاكاة نقل الجزيئات (النيوترونات ، الفوتونات ، الإلكترونات) في المادة. تم تطويره من قبل مختبر LANL "مختبر لوس ألاموس الوطني" ، والذي يتم توزيعه من قبل وكالة الطاقة النووية على الدول الأعضاء. أصبح الرمز الحسابي لنقل الجسيمات والتفاعلات مع المواد الأكثر استخدامًا على نطاق واسع في التطبيقات الأكثر سلمية، مثل الفيزياء الطبية والنيوترونات والوقاية من الإشعاع وفيزياء الكاشف [14].عند إستخدام هذا الكود فإنه من الضروري تحديد الخلايا والأسطح والمواد ومعايير المحاكاة ونوع الإجابات المطلوبة.

Units Used by MCNP) MCNP) MCNP . 1.4.3. III

الوحدات المستخدمة من الكود MCNP هي: الطول [cm]، الطاقة [MeV]، الوقت(s⁻⁸ s)، درجة الحرارة في MEV (kT)، الكثافة الذرية في الذرة ⁻¹ cm⁻¹، الكثافة الكتلية [g.cm⁻³]، المقاطع العرضية [barns] [15].

Uescription of MCNP5 code) MCNP5. وصف رمز 4.III

يعتمد رمز MCNP عن طريقة احتمالية تسمح بتحليل معادلة النقل بطريقة السحب العشوائي. حيث يكون لكل جسيم ينبعث منه قصة خاصة به. يتبع كل من الجزيئات المنبعثة من الولادة حتى اختفائها مع مراعاة احتمالات التفاعل مع المواد المختلفة التي واجهتها، ويمثلها المقاطع العرضية في المكتبات المرفقة بالكود. لإنشاء ملف إدخال، من الضروري تحديد الخلايا والأسطح والمواد ومعلمات المحاكاة ونوع الإجابات المطلوبة.

(Structure of the MCNP5 file) MCNP. هيكل الملف 1.4.III

يحتوي ملف الإدخال على معلومات حول وصف المواد والمقاطع العرضية وخصائص الموقع والمصدر ، والاستجابات المطلوبة ، وتقنية تقليل التباين لتحسين العمليات الحسابية. يتكون ملف الإدخال من ثلاث أقسامأساسية كما هو موضح في الشكل(1.11):

القسم الأولى يمثل سطر العنوان و تعريف الخلايا، القسم الثاني يأتي بعد سطر فارغ من القسم الأول و يمثل تعريف السطوح المستعملة ثم القسم الثالث ويأتي بعد سطر فارغ من القسم الثاني و يمثل المعطيات الفيزيائية الخاصة و القيم المراد حسابها.

Message Block + blank line delimiter {optional} One Line Problem Title Cell [Block 1] blank line delimiter Surface [Block 2] blank line delimiter Data [Block 3] blank line terminator {optional} رسالة الكتلة سطر فارغ (إختياري) سطر واحد لعنوان الإشكالية تعريف الخلايا تعريف السطوح سطر فارغ البيانات سطر فارغ فاصل (إختياري)

الشكل(1.III): هيكل ملف الإدخال MCNP.

(Cells) الخلايا .2.4.III

يتم تعريف الخلايا على أنها وحدات تخزين من المساحة التي تحدها الأسطح، ويتم استخدامها لتحديد شكل و محتوى المواد للمساحات المادية للمشكلة. تتم كتابة الخلية بواسطة رقم يحدد المادة المكونة لها وكثافته وله نوعان ، أحدهما إيجابي والآخر سالب عند وضع علامة على السطح المغلق تشير العلامة (+) إلى خارج الخلية وتشير العلامة (-) إلى داخل الخلية. الخلية هي نتيجة تقاطع و إتحاد أو تكامل بين مختلف السطوح يتبع كل من مشغلي التقاطع والإتحاد الرموز المنطقية. يمثل التقاطع ضمنيا ويمثله الأبيض بين سطحين () يتم إعطاء الإتحاد بواسطة (:). يرمز عامل التشغيل (#) إلى الاستثناء (لا ينتمي). يتم التصريح بالخلية بهذا الشكل:

J m d geom params

الشكل(2.III): شكل بطاقة الخلية.

حيث J : رقم الخلية التي قدمها المستخدم ; m: رقم الخلية إذا لم تكن فارغة ; d: كثافة المواد (atomes/cm³) أو ;g/cm³ geom: علامة الخلية و عوامل التشغيل المنطقية المختلفة المذكورة من قبل; params:اختياري ، يستخدم كلمات رئيسية مثل IMP ، Nol....

(Surface) (الهندسة) .3.4.III

حتى لو كان تعريف الأسطح يتداخل مع تعريف الخلايا في البرنامج، يبدو لنا أكثر منطقية أن نتحدث عنه من قبل ، لأن تعريف الخلايا يتضمن الأسطح التي حددناها.

يستخدم عنصر السطح لإنشاء هندسة للإشكالية (الخلية) من خلال تطبيق العمليات المنطقية و أيضا استخدام نظام الإحداثيات الديكارتية، يحتوي البرنامج في معادلاته على عدد كبير من الأسطح لتحديد سطح واحد نقوم بإدخال الصياغة كما في الشكل (3.III):

j n a liste

الشكل(3.III): شكل بطاقة السطح.

حيث

- j : يمثل رقم السطح ;
- n : يتعلق بتنسيق التحويلات ;
 - a : نوع السطح

Liste: هي مساحة للمستخدم لسرد الأرقام التي تصف السطح . الأشكال المحددة مسبقا هي : SPH(كرة)، RCC (أسطوانة)، RCC (أسطوانة بيضاوية). في الجدول (2.III) يتم إعطاء شرح لخصائص الأسطح المعترف بها بواسطة الكود MCNP.

الجدول(2. III): مكتبة خرائط الأسطح المعترف بها بواسطة MCNP [14].

بطاقة إدخالات	المعادلة	الوصف	النوع	السطح
A B C D	Ax + By + Cz D = 0	عامة	مستوي	Р
D	x D = 0	على المحور x		PX
D	y D = 0	على المحور y		РҮ
D	<i>z D</i> = 0	على المحور z		PZ
R	$x^2 + y^2 + z^2$ $R^2 = 0$	تركزت في المبدأ	دائرة	SO
$\overline{x}\overline{y}\overline{z}R$	$(x \ \bar{x})^2 + (y \ \bar{y})^2 + (z \ \bar{z})^2 - R^2 = 0$	عام		S
<i>x</i> R	$(x \bar{x})^2 + y^2 + z^2 R^2 = 0$	تركزت على المحور x		SX
\bar{y} R	$x^2 + (y \bar{y})^2 + z^2 R^2 = 0$	تركزت على المحور y		SY
<i>z</i> R	$x^2 + y^2 + (z \overline{z})^2 R^2 = 0$	تركزت على المحور z		SZ
<i>yz</i> R	$(y \ \bar{y})^2 + (z \ \bar{z})^2 - R^2 = 0$	موازية للمحور x	أسطوانة	C/X
<i>x̄z</i> R	$(x \ \bar{x})^2 + (z \ \bar{z})^2 - R^2 = 0$	موازية للمحور y		C/Y
$\overline{x}\overline{y}$ R	$(x \ \bar{x})^2 + (y \ \bar{y})^2 + R^2 = 0$	موازية للمحور z		C/Z
R	$y^2 + z^2 R^2 = 0$	على المحور x		СХ
R	$x^2 + z^2 R^2 = 0$	على المحور y		CZ
R	$x^2 + y^2 R^2 = 0$	على المحور z		
$\bar{x}\bar{y}\bar{z}t^2 \pm 1$	$\sqrt{(\mathbf{y} \overline{\mathbf{y}})^2 + (\mathbf{z} \overline{\mathbf{z}})^2} \cdot \mathbf{t}(\mathbf{x} \overline{\mathbf{x}}) = 0$	موازي للمحور x	مخروط	K/X
$\bar{x}\bar{y}\bar{z}t^2 \pm 1$	$\sqrt{(\mathbf{x} \overline{\mathbf{x}})^2 + (\mathbf{z} \overline{\mathbf{z}})^2} \cdot \mathbf{t}(\mathbf{y} \overline{\mathbf{y}}) = 0$	مواز <i>ي</i> للمحور y		K/Y
$\bar{x}\bar{y}\bar{z}t^2 \pm 1$	$\sqrt{(\mathbf{x} \ \overline{\mathbf{x}})^2 + (\mathbf{y} \ \overline{\mathbf{y}})^2} \cdot \mathbf{t}(\mathbf{z} \ \overline{\mathbf{z}}) = 0$	موازي للمحور z		K/Z
$\bar{x}t^2 \pm 1$	$\sqrt{y^2 + z^2} t(x - \bar{x}) = 0$	على المحور x		KX
$\bar{y}t^2 \pm 1$	$\sqrt{y^2 + z^2} t(x - x) = 0$	على المحور y		KY
$\bar{z}t^2 \pm 1$	$\sqrt{x^2 + z^2}$	على المحور z		KZ
	$\sqrt{x^2 + y^2} t(z = z) = 0$			
	± 1 تستخدم فقط 1 – ورقة مخروط			
A B C D E	$A(x \overline{x})^2 + B(y \overline{y})^2 + C(z \overline{z})^2 + 2$	المحور الموازي إلى ⁻ x ,	الإهليجي	SQ
FGHJK	$D(x \ \overline{x}) + 2E(y \ \overline{y})$	−y أو المحور z	سطح زائد	
	$+2F(z \overline{z})+G=0$		الجسم المكافئ الدوراني	
A B C D E	$A_{x}^{2} + B_{y}^{2} + C_{z}^{2} + D_{xy} + E_{yz} + E_{zy} + G_{z} + H_{y} + J_{z} + K = 0$	المحور غير الموازي إلى x v أو المحور z	اسطوانة، مخروط	GQ
FG x yz	yn nw -n y -n -		الإهليجي	
			الجسم المكافئ الدوراني	
			سطح زائد يبضاوي الشكل أو	
<i>x̄ ȳz</i> ABC	$(x \ \bar{x})^2 / B^2 + (\sqrt{(y \ \bar{y})^2 + (z \ \bar{z})^2} - A)^2$	$^{2}/C^{2}-1=0$		TX
<i>x̄ ȳz</i> ABC	$(y \ \bar{y})^2/B^2 + (\sqrt{(x \ \bar{x})^2 + (z \ \bar{z})^2} - A)^2$	$C^{2}-1=0$	دانري مستدير.	TY
<i>x̄ȳz</i> ABC	$(z \ \bar{z})^2/B^2 + (\sqrt{(x \ \bar{x})^2 + (y \ \bar{y})^2} - A)$	$^{2}/\mathrm{C}^{2}-1=0$	المحور المواري إلى	ΤZ
			y", x" او المحور z	* ** */***
			الاسطح التي تحددها النفاط	XYZP

4.4.III. تعريف البيانات في (MCNP (Definition of MCNP data. تعريف البيانات

تنسبق قسم بطاقة البيانات يشبه قسم بطاقة الخلية و قسم بطاقة السطح. تتضمن بطاقات البيانات الأكثر أهمية لتطبيقات الفيزياء الطبية، الفيزياء الذرية والنووية، الحماية من الإشعاع...: نوع المشكلة ، ومواصفات المصدر ، ومواصفات العدد ، ومواصفات المواد والمقاطع العرضية. وهذه سوى أمثلة قليلة على العديد من بطاقات بيانات MCNP المتاحة.

بطاقة "MODE" ، التي تمت مناقشتها أعلاه ، تعتبر كجزء من مواصفات المصدر حيث تعطي نوع الجسيمات التي سيتم إرسالها من المصادر.

Sources) المصادر (1.4.4.III

يتم تعريف المصدر بواسطة بطاقة SDEF. تستخدم هذه البطاقة مرة واحدة في ملفالإدخال ويمكن إنتاج مجموعة كبيرة ومتنوعة من المصادر . تعد بطاقة SDEF واحدة من أربعة الطرق المتاحة لتحديد الجزيئات أو الجسيمات . يظهر شكل بطاقة المصدر أدناه في الشكل (4.III).

SDEF source variable=specification...

ا**لشكل(4.III):**شكل عام لبطاقة المصدر

ضمن تعريف المصدر يمكن للمستخدم تحديد وظائف توزيع المصدر المحددة في "Sin" (معلومات المصدر) ، "SPn" (احتمال المصدر) "SBn" (مصدر التحيز)،و "DSn" (n هو رقم التوزيع).

SInoption I1... Ik

SPnoption P1... Pk(orSPnf a b)

SBnoption B1... Bk(or SBnf a b)

ا**لشكل(5.111):**شكل بطاقات مصدر توزيع الوظائف.

اعتمادًا على هندسة المصدر المستخدم ، يجب اختيار المعلمات التي تميزها من بين العديد من المتغيرات،بعض هذه المعلمات هي:

- ERG : مصدر الطاقة ب MeV؛
 - POS : موضع المصدر:
- CEL : الخلية التي تحتوي على المصدر;
- VEC : اتجاه المصدر في حالة عدم وجود نظير ;
 - PAR : نوع الجسيمات المنبعثة ;
 - RAD : شعاع من المصدر;

الإكمال تعريف المصادر ، تسمح توزيعات الطاقة للمتغير بأخذ عدة قيم. يتم تعريفهم بواسطة (n هو رقم التوزيع) ترتبط الخرائط بهذا التوزيع:SI(معلومات المصدر) ، الذي يحدد شكل التوزيع (منفصل ، الرسم البياني ، ...) ؛ يصف SP (احتمال المصدر) الاحتمالات المحتملة المرتبطة بالمصدر.

Tallies الحاسب. 2.4.4.III

من الممكن تحديد طلب مقادير مختلفة في رمز MCNP وفقًا للنتيجة التي نريد الحصول عليها ، مثل التيار عند سطح ما ، التدفق عند نقطة ما،... ، خريطة Fn هي مفيدة لتحديد المقادير المطلوبة ؛ المعلمات الأخرى اختيارية. تعد بطاقة Fn هي الأكثر أهمية وتختلف باختلاف الرقم «n». يوجد 7 مقادير النيوترونات ، 6 للفوتونات و 5 للإلكترونات . يتم تمييزها بواسطة «n». هذا العدد يتراوح من 1 إلى 8 ، باستثناء 3. عندما يرغب الشخص في تحديد عدة أرقام من نفس النوع ، من الممكن وضع أرقام أخرى قبل

يمكن أن يستحوذ اهتمامنا بشكل خاص على الرقمين F6 و .F8 في الواقع ، حيث يمكن تعريف F6 على أنه كمية الطاقة المودعة في الخلية كدالة لطاقة الجسيم الساقط على عكس الحاسب F8 الذي يسمح بالحصول على قيمة الطاقة المودعة في الخلية ، فإن هذا يعبّر عن عدد من الحوادث كدالة للطاقة المودعة.

جسيم	مواصفة	الحاسب
N, P, E, PE	التبار السطحي	F1
N, P, E, PE	متوسط تدفق المنطقة	F2
N, P, E, PE	متوسط التدفق على الخلية	F4
N, P	تدفق نقطة واحدة	F5
N, P, E	متوسط الطاقة المودعة في الخلية	F6
Ν	متوسط طاقة الإنشطار في الخلية	F7
N, P, E, PE	الطاقة المودعة في خلية (كاشف)	F8

ا**لجدول (3.III):**أحجام مختلفة تستخدمها MCNP[14].

(Materials) محتويات .3.4.4. III

يحدد تنسيق المادة ، أو بطاقة m ، في هذا القسم كلاً من التركيب النظائري للمواد و تقييم المقطع العرضي لاستخدامها في الخلايا . يتم عرض بطاقة المواد أدناه في الشكل (6.III).

zaid1 mn الكسر 2 zaid1 الكسر 2 ...

mnzaid1 fraction1 zaid2 fraction2 ...

mn = Material card name (m) followed immediately by the material number (n) on the card. The mn cards starts in columns 1-5.

zaid = Atomic number followed by the atomic mass of the isotope. Preferably(optionally) followed by the data library extension, in the form of .##L (period, two digits, one letter).

fraction = Nuclide fraction (+) Atom density (atoms/b-cm)

(-) Weight fraction

الشكل (6.III): تنسيق بطاقة المواد.

يتوافق الرقم "n" الموجود على بطاقة المادة مع رقم المادة الموجود على البطاقة الخلوية. على التوالي تتكون أزواج الإدخالات على بطاقة المواد من رقم التعريف (ZAID) الخاص بالعنصر المكون أو النيوكليدات يليه الكسر الذري الذي يكون موجب (+) أو الكسر الوزني إذا تم إدخاله بالسالب (-) من هذا العنصر أو النيوكليد، وهكذا يتم تعريف جميع العناصر في كل مادة من المواد المستعملة.

تستخدم المحاكاة بواسطة MCNP مكتبة بيانات نووية واحدة لكل نظير محدد في ملف الإدخالل للكود MCNP. حيث يتم اختيار المكتبات من خلال معرف فردي لكل عنصر في المكتبة، يسمى ZAID(ZZZAAA.nnx). تتكون هذه المعرفات من الرقم الذري (Z) ، العدد الكتلي (A) والمكتبة المحددةID[15،3]].

تم تخصيص هذا الفصل لمحاكاة مونت كارلو حيث في بدايته تطرقنا إلى عموميات على هذه الطريقة و التي تشمل الأرقام العشوائية ، مقارنة بين طريق مونت كارلو و الطريقة الحتمية ثم نقل الجسيمات و بالأخص نقل الإلكترونات. بعد ذلك قدمنا تعريف مختصر للرموز الرئيسية لمحاكاة مونت كارلو، ثم وصف شامل لمحاكاة مونت كارلو باستعمال الرمز MCNP والذي يعتمد عليه هذا العمل

مراجع الفصل III

[1] N. Metropolis et S. Ulam. The Monte Carlo method. Journal of American StatiscalAssosiciation, vol. 44, n°.247, pp. 335-341, 1949.

[2] A. AL-BASHEER, "3D deterministic radiation transport for dose computation in clinical procedures", university of Florida, (2008).

[3] "MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5 Volume I: Overview and Theory", Diagnostics Applications Group Los Alamos National Laboratory, University of California, (24April 2003).

[4] R. Antoni, L. Bourgois" Physique appliquée à l'exposition externe Dosimétrie et radioprotection" 2013.

[5] N. Martin "Application de la méthode des sous-groupes au calcul Monte-Carlo multigroupe" thèse de doctorat, université de Montréal 2011.

[6] "Applied R&M Manual for Defence Systems Part D - Supporting Theory (Chapter 4 Monte-Carlo simulation)", GR-77 Issue, (2012).

[7] Faiz M. Khan, "Physics of Radiation Therapy", Third Edition, P.9.67.71-75.297-300.406, 2003.

[8] M. Vilches, S. Garc'ıa-Pareja, R. Guerrero, M. Anguiano, A.M. Lallena, "Monte Carlo simulation of the electron transport through thin slabs: A comparative study of penelope, geant3, geant4, egsnrc and mcnpx", Spain.

[9] F. Salvat, J. M. Fernández-Varea, J. Sempau, "PENELOPE-2008: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport", Universitat de Barcelona, Spain, (2008).

[10] J. Sempau, J.M. Fern_andez-Varea, E. Acosta, F. Salvat, "Experimental benchmarks of the Monte Carlo code PENELOPE", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 207 (2003) 107–123, Elsevier, (2003).

[11] C. A. Adjei, "MCNP5 AND GEANT4 comparisons for preliminary fast neutronpencil beam design at the university of utahtriga system", Master of Science, Nuclear Engineering, University of Utah, (December 2012).

[12] D. E. Wagoner" using the egs electromagnetic shower simulation program for ssccalcuijations" Florida a &m university, Tallahassee, fl 32307, pp487-489.

[13] W.R Nelson" Structure and Operation of the EGS4 Code System" SLAC PUB-4792 pp1-18,1988.

[14] J. K. Shultis" AN MCNP PRIMER", Vienna: Mechanical and Nuclear Engineering, 2004–2011.

[15] A. L. Reed, "Medical physics calculations with mcnp: A primer", Los Alamos National Laboratory, X-3 MCC Texas A&M University, Dept. of Nuclear Engineering Summer American Nuclear Society Meeting Boston, MA, June 25-28, (2007).

الفصل الرابع تعيين خصائص حزم الإلكترونات العلاجية من منحنى PDD باستعمال الكاشف -RPL GD 15: تأثير سطح الحقل وطاقة الحزمة

الفصل IV

تعيين خصائص حزم الإلكترونات العلاجية من منحنى PDD باستعمال الكاشف RPL GD-301: تأثير سطح الحقل وطاقة الحزمة

1.IV. المقدمة

هذا الفصل مخصص للعمل التطبيقي والمتمثل محاكاة مونت كارلو لإيجاد منحنى النسبة المئوية لجرعة العمق (PDD)، حيث ذكرنا الأساليب والمواد التي استخدمناها، وعرض النتائج التي تم الحصول عليها في العمل الحالي مع المناقشة ومقارنة النتائج مع أعمال تجريبية ومحاكاة مونت كارلو لباحثين سابقين تم نشرها في مقالات علمية.

2.IV. الأساليب والمواد المستعملة (Materials and methods)

1.2.IV. الكاشف (Dosimeters)

تم استعمال كاشف شعاعي معروف ب GD-301RPLفي محاكاة مونت كارلو والمسوق من طرف شركةAGCGroupTechno Glass ، شيزوكا ، اليابان.

جميع خصائص مقياس الجرعات RPL-GD-301(المواد ، والهندسة ، والكثافة وما إلى ذلك) تم ذكرها في الجدول(1.IV) [1].

RPL-GD-301	الخصائص
1.5mm	القطر
8.5mm	الطول
P: 31.55% O: 51.16 % Na: 11.00 % Al: 6.12 % Ag: 0.17 %	العناصر المتفاعلة (كسر الوزن)
12.039	الرقم الذري الفعال
$2.610 g/m^3$	الكثافة

الجدول(1.IV): خصائص الكاشفRPL-GD-301]1].



الشكل (1.IV): صورة لمقياس الجرعات الزجاجية الإشعاعية الفلورية RPL GD-301 [2].

Phantom) المجسم (Phantom) المجسم

في هذه الدراسة تم استخدام مجسم مملؤ بالماء (H_2O) (فانتوم) الموازي بالأبعاد:30) × 30× (H_2O)، جدران المجسم (الفانتوم) مصنوعة من بوليميثيل ميثاكريليت(PMMA)، حيث سمك الجدار المقابل لمصدر الإشعاع هو mm 2.5 mm والجدران (الجدران الأربعة الجانبية و الجدار السفلي) يكون بسمك المصدر الإشعاع هو mm 10، يتم قياس كل جرعة من الإشعاعات عند عمق في المجسم (الفانتوم). التراكيب الذرية وكثافة المواد موضحة في الجدول ((2.1V))

بولي ميثيل ميثاكريليت (PMMA)	الماء	العنصر
0.0805	0.1119	Н
0.5999	-	С
0.3196	0.8881	0
1.19	1	الكثافة (g /cm3)
5.85	6.6	$Z_{e\!f\!f}$

الجدول (2.IV): خصائص المجسم ، التركيبات الذرية والكثافة المستخدمة في المحاكاة MCNP5[5].



الشكل(2.IV):الصورة (أ)مجسم مائي (فانتوم). الصورة (ب) المسرع الإلكتروني المستعمل في العلاج الإشعاعي بقسم العلاج بالأشعة في مركز مكافحة السرطان بالوادي.

(Simulation Monte Carlo) محاكاة مونت كارلو. 3.2.IV

تم استخدام نظام رمز مونت كارلو لمحاكة عملية نقل الجسيمات (MCNP5) لتصميم كاشف التلألؤ وحساب الطاقة المودعة في مقياس الجرعات لإيجاد النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD). تم استخدام MCNP5مع بيانات المقطع العرضي ENDF / B-VI في هذه الدراسة.



الشكل (2.IV):مخطط التجمع للإشعاع لدراسة المحاكاة [1] .

تم تطبيق محاكاة مونت كارلو لمصدر نقطي للإلكترونات التي تكافئ مخروط ذو سطح دائري، حيث يكون مساويا لمساحة حقل أشعة الإلكترونات المستخدمة في خطط العلاج الإشعاعي. يتم تعريض مقياس الجرعات الفلورية بواسطة شعاع إلكتروني مخروطي على عمق Z من سطح المجسم. يوضح الشكل (2.IV) وصفًا تفصيليًا للإعداد التجريبي الذي تم تصميمه في كود المحاكاة MCNP5.

يتم حساب الطاقة المودعة (ترسب الطاقة) في مقاييس الجرعات باستخدام الحاسب (tally) يتم حساب الطاقة المودعة (ترسب الطاقة) في مقاييس الجرعات باستخدام الحاسب (tally) 'F8* من MCNP5 مع وضع (mode) نقل الجسيمات '' وضع : pe ''. للحصول على جميع الاحتمالات الإحصائية الموصى بها في كود MCNP5، يتم تنفيذ عمليات المحاكاة مع عدد جسيمات قدره 10⁸ في الاحتمالات المحادة (شكل قمعي) من مصدر الإلكترونات نحو المجسم، حيث كان الخطأ النسبي أقل من 2% لكل العمليات الحسابية [5].



الشكل (3.IV): سطح عمل كود المحاكاة MCNP5 , مثال لملف الإدخال ل MCNP5.

F8 tally * هو حاسب الطاقة المودعة (ترسب الطاقة) الكلية في خلية معينة بوحدة MeV، كما هو موضح في العلاقة (1. IV).

$$F8 = ED \times WC \tag{1. IV}$$

حيث WC هو الوزن الجماعي من تاريخ لإحصاء ارتفاع النبض و ED هو إجمالي الطاقة المودعة من قبل الجسيم في الكاشف، يتم تحويل القيم المحسوبة إلىGyعن طريق قسمة قيمة الطاقة

 $MeV.g^{-1}$ المودعة MeVعلى كتلة الخلية وضربها بـ 1.602×10^{-8} لتحويل الوحدات من MeV.g^{-1}. [1].J kg⁻¹ (Gy) إلى (Gy).

الحقل المكافئ ونوعية حزم الإلكترون

مخارج الحزم المستخدمة في العلاج الإشعاعي مختلفة الأشكال، وأهم أشكال الحقول المستخدمة: مربع، مستطيل، دائري، غير منتظم...



ا**لشكل(4.IV):**مثال عن بعض الأشكال لمخارج الحزم المستخدمة في العلاج الإشعاعي [6].

في الدراسة الحالية تم اعتماد شكل دائري لحقل الحزمة الإلكترونية المستعملة في محاكاة مونت كارلو (Monte Carlo) والتي تكافئ شكل مربع في القياس التجريبي. في هذا العمل تم استعمال أربعة حقول مختلفة تستعمل في القياس التجريبي وهي (15x15(cm²), 10x10(cm²), 5x5(cm²), 15x15(cm²), 20x20(cm²) و(20x20(cm²).

(2.IV)

حيث :

يمثل مساحة الحقل المكافئ (Field Size) و r_{eq} هي نصف قطر السطح الدائري. a_{eq}^2

4.2.IV. النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD) (PDD) (Prcentage Depth Dose)

تستخدم الحزم الإلكترونية ذات الطاقة من 4-20MeV على نطاق واسع في العلاج الإشعاعي [7]. لذا من الضروري تحديد خصائص هذه الحزم الإلكترونية بشكل دوري، حيث يتم ذلك استخدام بيانات نسبة عمق الجرعة المئوية [8,9].

تم إجراء الحسابات باستخدام المسافة من المصدر إلى السطح (SSD) البالغة 100cmمع الحزم الإلكترونية التالية: 4، 6، 9، 12 و 20 MeV

يتم الحصول على النسبة المئوية لعمق الجرعة عن طريق حساب الجرعة الممتصة في المجسم المائي في أعماق مختلفة، و تعرف بأنها النسبة المئوية بين الجرعة الممتصة عند العمق (d) إلى الجرعة الممتصة عند العمق المرجعي (d)، (بصفة عامة $d_{max} = d_{max}$ عند العمق المرجعي (d)، (بصفة عامة $d_{max} = d_{max}$

تعطى النسبة المئوية لعمق الجرعة بالعلاقة التالية:

PDD (%) =
$$(D_d / D_{d0}) \times 100$$
 (3.IV)

حيث : D_d هي الجرعة الممتصة عند عمق D_d ، d هي الجرعة الممتصة على عمق d_0 (حيث يكون D_d : يساوي d_{max} في أغلب الحالات كما هو في العمل الحالي) [10].



الشكل(5.IV): مخطط يبين كيفية تحديد النسبة المئوية لعمق الجرعة [11].

تتغير هذه النسبة بتغير عدة عوامل أهمها: طاقة الحزمة، العمق d، مساحة الحقل المعالج (Field) (Size)، و البعد بين المصدر و سطح المجسم (SSD) [10].

من أهم فوائد قياس PDD هو معرفة ما يلي: تغير الجرعة مع العمق، و أكبر عمق للجرعة الممتصة (الجرعة القصوى) لكل طاقة من الطاقات، بالإضافة إلى الجرعة السطحية من جهة دخول الحزمة عند سطح المجسم أو ما يسمى جرعة الدخول (entrance dose)، والجرعة الممتصة على محور الحزمة عند أعماق مختلفة. كما يساعد في تحديد منطقة تزايد (تعاظم أو تراكم) الجرعة (buildupregion)، وهي المنطقة التي تزداد فيها الجرعة تدريجيا حتى قيمة عظمى عند عمق يساوي d_{max} للطاقة المستخدمة [10].

الشكل التالي يبين منحنى نموذجي لكيفية حساب المقادير المستخرجة من PDD لحزمة إلكترونية معينة.

R_{max}يعرف بأنه العمق عند استقرار ذيل منحنى الجرعة (Bremsstrahlung). ₉₀و R₅₀ هي الأعماق التي تنخفض عندها الجرعة الممتصة إلى %90 و %50 على التوالي من الحد الأقصى للجرعة من منحنى PDD الإلكتروني.



الحمق (cm)

(Practical Range) المدى العملي و هو العمق عند تقاطع المماس عند نقطة تحديد R_{50} مع خط R_{p} (Practical Range) الإستقرار للمنحنى (Bremsstrahlung).

E_P هي الطاقة الأكثر احتمالا على سطح المجسم التجريبي و تتعلق بالمدى العملي R_p في الماء على النحو التالي :

$${
m E_P}=0.22+1.09{
m R_p}+0.0025~{
m R_p}^2$$
حيث وحدة ${
m MeV}$ و وحدة ${
m E_P}$ هي cm وحدة ${
m MeV}$ و وحدة ${
m E_P}$ و ${
m E_P}$ و يعطى بالعلاقة التالية :
 ${
m ar E_0}$ هي الطاقة المتوسطة للإلكترون على سطح المجسم و يتعلق بالعمق ${
m R_{50}}$ و يعطى بالعلاقة التالية :
 ${
m ar E_0}={
m CR_{50}}$

-يث C = 2.33 MeV/cm.

3.IV. النتائج و المناقشة (Results and discussion).

تمثل الأشكال من (7.IV) إلى(10.IV) منحنيات النسبة المئوية لعمق الجرعة عند مساحات الحقول (5x5(cm²) 5x5(cm²)، (10x10(cm²) و (20x20(cm²) للحزم الإلكترونية 4، 6، 9، 12 و 20 MeV.



(Fild size) الشكل(7.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية 5x5 (cm²).



(Fild size) الشكل(8.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية 4-20 MeV عند مساحة الحقل (Fild size) 10x10(cm²).



(Fild size) الشكل(9.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية 4-20 MeV عند مساحة الحقل (Fild size) 15x15(cm²).



(Fild size) النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية 4-20 MeV عند مساحة الحقل (Fild size) الشكل(10.IV): النسبة المئوية لعمق الجرعة للحزم الإلكترونية 20x20(cm²).

الفصل الرابع

الجدول التالي يوضح مدى تأثير مساحة الحقل ($10 ext{m}^2$), $5 ext{x5}(ext{cm}^2)$ و $15 ext{x15}(ext{cm}^2)$ و $10 ext{x10}(ext{cm}^2)$								
منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD) عند الجزم الألكترونية 4، 6، 9، 12 و 20 20 20								
ق الجرعة.	- بة المئوية لعم	ن منحنى النس	المستخرجة م	ل قيم المقادير	قل (FS) علے	یر مساحات ح	3.IV): تأثر	الجدول (٧
D_surf(%)	${ar E}_0$	E _P	R _P	R ₈₀	R ₉₀	R ₅₀	R_{100}	مجال الحقل (cm)
				4MeV				
67.41	3.3524	3.8193	1.8137	1.2282	1.0871	1.4388	0.9	5x5
66.43	3.3524	3.8207	1.8144	1.2357	1.0952	1.4388	0.9	10x10
65.55	3.3524	3.8044	1.8062	1.2282	1.0871	1.4388	0.9	15x15
66.24	3.3349	3.8193	1.8137	1.2357	1.1028	1.4313	0.9	20x20
				6MeV				
76.32	5.4657	5.8384	2.8275	2.0334	1.8516	2.3458	1.5	5x5
71.4	5.4657	5.8135	2.815	2.0334	1.8652	2.3458	1.5	10x10
70.39	5.4657	5.8135	2.815	2.0208	1.8641	2.3458	1.5	15x15
69.81	5.4657	5.8135	2.815	2.0073	1.8505	2.3458	1.5	20x20
-				9MeV				
74.76	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	5x5
73.85	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	10x10
74.67	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	15x15
74.06	8.6333	8.9677	4.3937	3.2376	3.0445	3.7053	2.4	20x20
				12MeV				
82.18	11.8871	11.9914	5.9012	4.536	4.2021	5.1018	3.3	5x5
78.37	11.7958	12.0324	5.9216	4.5156	4.2413	5.0626	3.3	10x10
78.92	11.814	11.9711	5.8911	4.5247	4.2131	5.0704	3.3	15x15
81.01	11.8399	12.0324	5.9216	4.4968	4.1818	5.0815	3.6	20x20
20MeV								
90.96	19.2989	20.4665	10.0968	6.7085	5.8598	8.2828	3.3	5x5
89.94	20.1442	20.3087	10.0191	7.635	7.2333	8.6456	3.6	10x10
89.54	20.0461	20.2233	9.977	7.635	7.1102	8.6035	4.5	15x15
89.34	20.0461	20.1443	9.9381	7.635	7.0324	8.6035	5.4	20x20

بالنسبة لتأثير مساحة الحقل (FS) يلاحظ عدم تغير عمق الجرعة القصوى بتغير مساحة الحقل، أما بالنسبة للمسارات R_P, R₅₀, R₉₀, R₁₀₀ فيلاحظ تغير بسيط و مهمل بتغير مساحة الحقل.

من جهة أخرى، قمنا بحساب الاختلاف مع نتائج سطح الحقل 15x15 cm² أين أظهرت قيمة عظمى cm²FS= 5x5 أقل من %2 بالنسبة لجميع الحزم، باستثناء سطح الحقل cm²FS= 5x5 عند الحزمة ذات الطاقة MeV.

20 MeV بالنسبة للطاقة \overline{E}_0 تم الحصول على اختلاف 0.62% مع جميع الحزم بإستثناء الحزمة \overline{E}_0 20 MeV حيث تم الحصول على فارق أقصى قدره 3.72%. بخصوص الجرعة عند السطح (0.50%) أثبتت نتائج المحاكاة المتحصل على فارق أعطمي قدره 8.42% عند الحزمة MeV و 6.13% مع باقي الحزم المحاكاة المتحصل عليها أن فارق أعظمي قدره 8.42% عند الحزمة MeV و 6.13%

الجدول التالي يوضح تأثير طاقة الحزم الإلكترونية 4-20MeV على قيم المسارات و الطاقات المختلفة عند مختلف مساحات الحقل (20x20(cm²) – 5x5(cm²)

الجدول (4.IV): تأثير طاقة الحزم الإلكترونية على قيم المقادير المستخرجة من منحنى النسبة المئوية لعمق الجدول (4.IV)

D_surf(%)	${ar E}_{ m o}$	Ер	Rp	R 80	R 90	R50	R100	الطاقة المودعة
5x5cm ²								
67.41	3.3524	3.8193	1.8137	1.2282	1.0871	1.4388	0.9	4MeV
76.32	5.4657	5.8384	2.8275	2.0334	1.8516	2.3458	1.5	6MeV
74.76	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	9MeV
82.18	11.8871	11.9914	5.9012	4.536	4.2021	5.1018	3.3	12MeV
90.96	19.2989	20.4665	10.0968	6.7085	5.8598	8.2828	3.3	20MeV
				10x10cm ²				
66.43	3.3524	3.8207	1.8144	1.2357	1.0952	1.4388	0.9	4MeV
71.4	5.4657	5.8135	2.815	2.0334	1.8652	2.3458	1.5	6MeV
73.85	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	9MeV
78.37	11.7958	12.0324	5.9216	4.5156	4.2413	5.0626	3.3	12MeV
89.94	20.1442	20.3087	10.0191	7.635	7.2333	8.6456	3.6	20MeV
				15x15cm ²				
65.55	3.3524	3.8044	1.8062	1.2282	1.0871	1.4388	0.9	4MeV
70.39	5.4657	5.8135	2.815	2.0208	1.8641	2.3458	1.5	6MeV
74.67	8.6333	8.9351	4.3774	3.2689	3.0495	3.7053	2.4	9MeV
78.92	11.814	11.9711	5.8911	4.5247	4.2131	5.0704	3.3	12MeV
89.54	20.0461	20.2233	9.977	7.635	7.1102	8.6035	4.5	20MeV
20x20cm²								
66.24	3.3349	3.8193	1.8137	1.2357	1.1028	1.4313	0.9	4MeV
69.81	5.4657	5.8135	2.815	2.0073	1.8505	2.3458	1.5	6MeV
74.06	8.6333	8.9677	4.3937	3.2376	3.0445	3.7053	2.4	9MeV
81.01	11.8399	12.0324	5.9216	4.4968	4.1818	5.0815	3.6	12MeV
89.34	20.0461	20.1443	9.9381	7.635	7.0324	8.6035	5.4	20MeV

من خلال النتائج المبينة في الجداول السابقة يلاحظ أن قيم المسارات R_P, R₅₀, R₉₀, R₁₀₀ كلها تزيد بزيادة الطاقة، السبب الرئيسي في ذلك وهو كلما زادت الطاقة زادت قوة الإختراق للوصول إلى عمق أكبر لإيداع الطاقة القصوى (R₁₀₀₎, فيزداد المجال التراكمي للجرعة (Build-up region) و بذلك تزيد باقي المسارات.
بالنسبة لـ \overline{E}_{0}, E_{P} يلاحظ كذلك زيادة قيمتها بزيادة الطاقة و هذا يعتبر شيء منطقي حيث أن \overline{E}_{0} تتعلق خطيا ب R_{50} فبزيادة R_{50} تزيد \overline{E}_{0} ، كذلك E_{P} تزداد بزيادة المسار R_{P} و الذي بدوره يزداد بزيادة الطاقة. و بالنسبة للجرعة عند السطح (D_{surf}) يلاحظ أنها تزيد بزيادة الطاقة حيث كانت هذه الزيادة منتظمة مع كل سطوح الحقل باستثناء الطاقة 6 MeV عند سطح الحقل 5 Sx5cm^2 .



Glide- الشكل (11.IV) : مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها Glide- الشكل (11.IV) : مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها Lee et al.

		Glide-Hurst et al					Lee et al		
E(MeV)	عملنا	LIFUC1	HEHGO	COL	UTCW	Maan	کاشفMicrodiamond	كاشف	
		пгп51	пгп52	COL	UISW	Mean		DiodeE	
6	2.346	2.33	2.29	2.41	2.37	2.35	2.474	2.494	
9	3.705	3.5	3.5	3.61	3.63	3.56	3.664	3.7	
12	5.082	4.93	4.96	5.01	5.08	5	5.135	5.171	
20	8.604	8.23	8.22	8.27		8.24	8.52	8.539	

الجدول(5.IV): قيم المقدار R₅₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها الباحثين . Lee et al [12] و . [13] Lee et al [13].

بالنسبة للمقدار R₅₀ بالمقارنة مع أعمال Glide-Hurst وجد أن القيمة القصوى للفارق هي كالتالي %5.87 و %2.07 عند حزمة الإلكترونات 9MeV التي تم قياسها في المراكز التالية HFHS1 HFHS2 على التوالي، كذلك %4.03 و %4.41 عند حزمة الإلكترونات 20MeV بالنسبة للمركز COL و القيمة المتوسطة (Mean) على التوالي.

بالإضافة إلى ذلك أثبتت المقارنة بين النتائج المتحصل عليها بالمحاكاة في هذه الدراسة مع أعمال Glide-Hurst أن القيمة القصوى للفارق لا تتجاوز %3.10 بالنسبة لجميع المراكز مع الحزم الإلكترونية 6MeVو 12MeV.

و بالمقارنة مع أعمال .Lee et al تم العثور على قيمة قصوى للفارق مقدارها %5.18 و %5.94 بالنسبة للكواشف microdiamond و Diode E، على التوالي، عند حزمة الإلكترونات 6MeV، أما بالنسبة لباقي الحزم الإلكترونية (12,20MeV) وجد أن الاختلاف لا يتجاوز %1.73 .

من ناحية أخرى قام .[14] Ferretti et al [14] بأعماله التجريبية في التحقق من صحة نظام تخطيط من ناحية أخرى قام . VMC^{++} [14] و مونت كارلو لحزم الإلكترون، حيث وجد قيم المقدار TPS العلاج الإشعاعي TPS بإستعمال محاكاة R_{50} و مونت كارلو لحزمات الإلكترونية 5، 7، 8، 10 و Rev على التوالي.



Glide- الشكل (12.IV) :مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها Glide- الشكل (12.IV) :مقارنة النتائج المتحصل عليها مع أعمال تجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها [12] و Lee et al.

E(MeV)	عملنا		Glide	Lee et al						
		HFHS1	HFHS2	COL	UTSW	Mean	microDiamond	Diode E		
6	1.851	1.72	1.69	1.79	1.75	1.74	1.898	1.946		
9	3.045	2.67	2.68	2.77	2.78	2.73	2.863	2.903		
12	4.182	3.82	3.82	3.89	3.94	3.87	4.06	4.071		
20	7.032	5.97	6	6		5.99	5.992	6.023		

الجدول(6.IV): قيم المقدار R₉₀ المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قا**لجدول(6.IV):** قام بها [13] e e et al. قام بها [12] و [13].

بالنسبة للمقدار R₉₀ ، باستثناء الحزمة MeV ، تم العثور على قيمة قصوى للاختلاف مقدار ها 14.03%, 9.91%, 9.91%, 9.91% و 11.52% مع القياسات التي قام بها في المراكز الإستشفائية التالية UTSW ، FHS2 COL , ، HFHS1 و القيمة المتوسطة (Mean) على التوالي عند نفس حزمة الإلكترونات (الحزمة 9 MeV).

وبالمقارنة مع أعمال .Lee et al أيضا باستثناء الحزمة MeV وجد أن القيمة القصوى للاختلاف (الفارق) قدرها %6.34 و £Diode على التوالى عند نفس حزمة الإلكترونات 9MeV .

من ناحية أخرى قام .Ferretti et al [14] بأعمال تجريبية في التحقق من صحة نظام تخطيط من ناحية أخرى قام .TPS و VMC لحزم الإلكترون، حيث تم الحصول على العلاج الإشعاعي TPS باستعمال محاكاة مونت كارلو ⁺⁺ VMC لحزم الإلكترون، حيث تم الحصول على قيم المقدار R₉₀ التالية: 2.6 cm ، 2.1 cm ، 1.6 cm و 3.8 cm و 3.8 cm و 12 MeV لحزمات الإلكترونية 5، 7 ه، 10 و 10 MeV على التوالي.



الشكل (13.IV): مقارنة قيم R_P بين النتائج المتحصل عليها و الأعمال التي قام بهاR_P بين النتائج المتحصل عليها و الأعمال التي قام بها [15] Maskani et al.

فام بها . Iviaskalli et al. او Izjet al Ollue-Huist.										
E(MeV)	عملنا		Glide	e-Hurst e	Maskani et al					
		HFHS1	HFHS2	COL	UTSW	Mean	محاكاة مونت كارلو (MC)	القياس		
6	2.815	3	2.91	3.07	3.05	3.01	2.97	2.96		
9	4.394	4.37	4.35	4.49	4.5	4.43	4.4	4.38		
12	5.922	6.05	6.04	6.15	6.21	6.11	6.04	6.04		
20	9.938	10.17	10.05	10.11		10.11				

الجدول(7.IV): قيم المقدار R_P المتحصل عليه في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية ومحاكاة مونت كارلو التي قام بها . Maskani et al و [12] و .[13] Maskani et al [13].

بالنسبة للمقدار _{RP}بالمقارنة مع أعمال قام بها Glide-Hurst et al. تم الحصول على قيمة قصوى للاختلاف قدر ها %7.70 %3.26, 8.30% و %6.47 التي تم قياسها في المراكز الإستشفائية التالية UTSW ,COL ,HFHS2 ,HFHS1 و القيمة المتوسطة (Mean) على التوالي عند نفس حزمة الإلكترونات 6MeV.

و يجدر الذكر أن النتائج أثبتت أن الاختلاف لا يتجاوز %4.65 بالنسبة لجميع المراكز مع باقي الحزم الإلكترونية (9, 12, 20 MeV).

و بالمقارنة مع أعمال المحاكاة بطريقة مونت كارلو التي قم بها Maskani et al وجد أن القيمة القصوى للاختلاف قدر ها %5.21 و %4.89 بالنسبة للقياسات التجريبية و الحسابات بإستعمال كود بريمو (Primo)عند نفس حزمة الإلكترونات 6MeV. بالإضافة إلى باقي الحزم الإلكترونية وجد أن الإختلاف لا يتجاوز %1.96 .

من ناحية أخرى قام .Ferretti et al العلاج [14] من ناحية أخرى قام . R_P التجارية باستعمال محاكاة مونت كارلو VMC^{++} لحزم الإلكترون، حيث وجد قيم المقدار TPS التجارية باستعمال محاكاة مونت كارلو عند الحزم الإلكترونية 5، 7، 8، 10 و12MeV لحزم الإلكترونية 5، 7، 8، 10 و12MeV على التوالي.



الشكل (14.IV): مقارنة قيم E_P بين النتائج المتحصل عليها و الأعمال التي قام بهاE_P E [12] et al. Glide-Hurst [12]. و.13] Maskani et al].

الجدول (8.IV): مقارنة لقيم الطاقة E_P المتحصل عليها في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها Bilde-Hurs[12] و .Maskani et al] و .Maskani et al]

E(MeV)	عملنا		Glide	e-Hurst e	Maskani et al			
		HFHS1	HFHS2	COL	UTSW	Mean	محاكاة مونت كارلو (MC)	القياس
6	5.814	6.19	6	6.32	6.29	6.2	5.97	6.1
9	8.968	8.91	8.87	9.16	9.19	9.03	8.85	8.94
12	12.03	12.29	12.28	12.5	12.6	12.42	12.12	12.27
20	20.14	20.61	20.38	20.49		20.49		

6.08% وجد أن القيمة القصوى للفارق مع أعمال Glide-Hurst كالتالي 6.08% , UTSW ,COL ,HFHS2 و 6.23% التي تم قياسها في المراكز التالية 7.57% , 8.01, 3.10% , HFHS1 و القيمة المتوسطة (Mean) عند نفس الحزمة الإلكترونية (6MeV)

كما لوحظ أن الفارق لا يتجاوز %4.51 مع باقي الحزم الإلكترونية (9, 12, 20 MeV) لجميع القياسات في جميع المراكز الإستشفائية.

و بالمقارنة مع أعمال .Maskani et al وجد أن القيمة القصوى للإختلاف قدر ها %2.62 و %4.96 بالنسبة لمحاكاة مونت كارلو و القياس على التوالي عند نفس الحزمة الإلكترونية (6MeV). أما بالنسبة لباقي الحزم الإلكترونية وجد أن الاختلاف لا يتجاوز %1.93.



ا**لشكل(15.IV):** مقارنة لقيم متوسط الطاقة Ē₀ المتحصل عليها في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها .Maskani et al[13] و Lee et al][13].

الجدول (9.IV): قيم الطاقة المتوسطة \overline{E}_0 المتحصل عليها في هذه الدراسة مع الأعمال التجريبية و محاكاة مونت كارلو التي قام بها .[13] Maskani et al] و .[13] و

		Maskani	et al	Lee et al		
E(MeV)	عملنا	MC Calculated	القياس	microDiamondکاشف	کاشف Diode E	
6	5.4657	5.77	5.64	5.76	5.81	
9	8.6333	8.34	8.33	8.54	8.62	
12	11.7958	11.53	11.52	11.96	12.05	
20	20.1442			19.85	19.9	

بالنسبة لمقدار متوسط الطاقة \overline{E}_0 وجد أن القيمة القصوى للاختلاف مع أعمال Maskani et al. بالنسبة لمقدار متوسط الطاقة 5.27 وجد أن القياس عند 5.27% عند حزمة الإلكترونات 6MeV بالنسبة لمحاكاة مونت كارلو، كذلك 3.64% بالنسبة للقياس عند الحزمة الإلكترونية 9MeV.

و بالمقارنة مع أعمال Lee et al. وجد أن القيمة القصوى للاختلاف هي 5.1% و 5.92% بالنسبة للكواشف microdiamond و Diode E على التوالي عند نفس الحزمة الإلكترونية (6MeV)، أما بالنسبة لباقي الحزم الإلكترونية فقد لوحظ أن الاختلاف لا يتجاوز 2.1%.

يرجع الاختلاف في معلمات قياس الجرعات المحسوبة إلى الفرق في فقدان الطاقة الناتج عن العمليات التصادمية والإشعاعية التي تولدها الإلكترونات التي تعبر الوسط ، حيث يحتوي زجاج الفوسفات المطعم (منشط) Ag (RPLGD) على عدد ذري فعال (حوالي 12.04).

بالإضافة إلى ذلك ، وبسبب الإشعاع الإنكباحي (bremsstrahlung) ، فإن قدرة التوقف الخطية في مقياس الجر عات تتناسب تقريبًا مع الطاقة الإلكترونية و Z² (مربع العدد الذري). بالإضافة إلى ذلك ، تزداد إمكانية فقد الإشعاع مع طاقة الإلكترونات والرقم الذري (Z) [16].

من ناحية أخرى ، فإن ظاهرة الاستقطاب مهمة بشكل خاص في غرف التأين. تفقد الإلكترونات ذات الطاقة العالية جرعة أكبر لكل سنتيمتر مربع في الغاز من خلال وسط مكثف ، بسبب الاستقطاب الكبير للوسط الكثيف. بعد ذلك ، يختلف عامل تحويل الجرعة لغرفة التأين بالهواء التي تقاس بالماء (أو أي وسط مكثف آخر) مع العمق ، لأن النسبة بين طاقة التبريد الجماعية للمياه و الهواء تختلف مع الطاقة الإلكترونية [16].

4.IV. الخاتمة :

تمت الدراسة في هذا الفصل بالمحاكاة بطريقة مونت كارلو و بإستعمال مقياس الجرعة الإشعاعية RPL GD-301 لحساب الطاقة المودعة و النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD) .

حيث تم استعمال حزم إلكترونية مختلفة 4-20MeV و باستعمال عدة مساحات حقل -(5x5(cm²) 20x20(cm²) لحقل أشعة الإلكترونات المستخدمة في نظام مخطط العلاج الإشعاعي، لدراسة تأثير مساحات الحقل و تأثير طاقات الحزم الإلكترونية المختلفة على قيم المسارات والطاقات المميزة للحزم المستخرجة من منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD).

النتائج المتحصل عليها لقيم المسارات \overline{E}_{P} أثبتت النتائج المتحصل عليها لقيم الطاقة \overline{E}_{P} النتائج النتائج المتحصل عليها لقيم المسارات R_{90} , R_{50} , R_{P} أثبتت توافق كبير مع النتائج التجريبية ونتائج محاكاة مونت كارلو لأعمال سابقة تم نشرها في مجلات عالية الجودة.

مراجع الفصل IV

[1] A.-H. Benali, G. Medkour Ishak-Boushaki, A. Nourreddine, M. Allab and P. Papadimitroulas, A comparative evaluation of luminescence detectors: RPL-GD-301, TLD-100 and OSL-AL₂O₃:C, using Monte Carlo simulations, 2017 JINST 12 P07017.

[2]David Y.C. Huang, Shih-Ming Hsu, "Radio-Photoluminescence GlassDosimeter (RPLGD)", InTech, (2011).

[3] A.-H. Benali and G.M. Ishak-Boushaki, Energy response of FD-7 RPL glassdosimeter compared with LiF Mg, Ti and Al2O3:C dosimeters, 2018.

[4] E.B. Podgorsak "Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students", Vienna: Technical Editor, IAEA, 2005.

[5] K. Son, H. Jung, S. H. Shin, H.Ho Lee, S. Lee, Mi-Sook Kim, Y. H. Ji, K. B. Kim ,"Feasibility Study of the Radiophotoluminescent Glass Dosimeter for Highenergy Electron Beams", k NRF, No. 2011-0002305, Korea, (2011).

[6] NavidKhaledi, Azim Arbabi,DariushSardari, Seied Rabie Mahdavi, Hossein[6]Aslian, MoloudDabaghi ,KouroshSheibani, Monte Carlo investigation of the effect of small cutouts on beam profile parameters of 12 and 14 MeV electron beams.

[7] M. Mahjour, "A New Approach to Cancer Remedy by Radioimmunotherapy with Alpha Particles: A Novel Study", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 9, September 2014, Pages 788-794.

[8] S. García-Pareja, M. Vilches, A.M. Lallena, "Ant colony method to control variance reduction techniques in the Monte Carlo simulation of clinical electron linear accelerators of use in cancer therapy", Journal of Computational and Applied Mathematics, Volume 233, Issue 6, 15 January 2010, Pages 1534-1541.

[9] S. Chatterjee, A.K. Bakshi, R.A. Kinhikar, G. Chourasiya, R.K. Kher, "Response of CaSO4: Dy phosphor based TLD badge system to high energy electron beams from medical linear accelerator and estimation of whole-body dose and skin dose", Radiation Measurements, Volume 44, Issue 3, March 2009, Pages 257-262.

[10] Haisam Ibrahim Jbeli, Bassam Soleman Saad, Morhem Hasan, "Experimentalmeasurement of the radiant dose distribution and comparing with

Treatment Planning System (TPS) calculation", Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies – Basic Sciences Series Vol. (37) No. (2) 2015. (Arabic version).

[11] D. Mouhssine, Étude d'une nouvelle génération de dosimètre basée sur les détecteurs photo stimulables type BaFBr(Eu) : caractérisation et application à la dosimétrie environnementale et personnelle, thèse de doctorat ,Université Louis Pasteur- Strasbourg I,2004.

[12]C. Glide-Hurst, M. Bellon, R. Foster, C. Altunbas, M. Speiser, M. Altman, DWesterly, N. Wen, B. Zhao, Commissioning of the Varian TrueBeam linear accelerator: A multi-institutional study, Medical Physics 40, 031719 (2013); doi: 10.1118/1.4790563.

[13] Chang YeolLee, Woo ChulKim, Hun JeongKim and Hyun Do Huh, Comparative Dosimetric Characterization for Different Types of Detectors in High-Energy Electron Beams, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 70, No. 3, February 2017.

[14]A. Ferretti, A. Martignano, F. Simonato, M. Paiusco, Validation of acommercial TPS based on the VMCMonte Carlo code for electron beams: Commissioning and dosimetric comparison with EGSnrc in homogeneous and heterogeneous phantoms,21 July 2012.

[15]Reza Maskani, Mohammad JavadTahmasebibirgani, MojtabaHoseiniGhahfarokhi , JafarFatahiasl, Determination of Initial Beam Parameters of Varian 2100 CD Linac for Various Therapeutic Electrons Using PRIMO, DOI:http://dx.doi.org/10.7314/APJCP.2015.16.17.7795Initial Beam Parameters of Varian 2100 CD Linac with PRIMO.

[16] Faiz M. Khan, John P. Gibbons,"Physics of Radiation Therapy", Fifth Edition, P.9.67.71-75.297-300.406, 2014.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

ركزت دراستنا النظرية على التطرق لأهم تفاعلات المادة مع الإشعاع والمتمثلة في تفاعل الفوتونات و الجسيمات المشحونة الثقيلة والخفيفة مثل الإلكترونات مع المادة، و قدمنا أيضا تعريف مبسط لأهم المقادير الفيزيائية و مقادير الوقاية من الإشعاع بعد ذلك تطرقنا للمبدأ الفيزيائي لكواشف التلألؤ وتم ذكر أنواعها حيث توجد ثلاثة أنواع رئيسية وهي - مقاييس الجرعات الحرارية الوميضية (TLD) - مقاييس الجرعات اللامعة المحرضة ضوئيا (OSL) - مقياس الجرعة الشعاعية (RPL) حيث تم التطرق لخصائص كل كاشف و أهم مميزاته و عيوبه و مجالات استخداماته، وفي هذه المذكرة تم الاهتمام على وجه الخصوص بمقاييس الجرعات الزجاجية الإشعاعية الإشعاعية RPLGD من نوع GD-301 من دون مرشح.

تم الاعتماد على محاكاة مونت كارلو باستعمال الرمز MCNP (بسبب النتائج المذهلة التي أظهرها في مجال العلاج الإشعاعي) لحساب الطاقة المودعة واستخراج منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة (PDD) في مجسم مائي (أبعاده هي 30 cm³ للى 20x20cm²) ذات الحزم الإلكترونية من 4 إلى 20 20 و عند مساحات الحقول من 25x5cm² إلى 20x20cm².

 \overline{E}_{0}, E_{P} و الطاقات R_P, R₅₀, R₉₀, R₁₀₀ وجدنا أن القيمة القصوى للإختلاف للقيم المحسوبة المستخرجة من منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة ، وجدنا أن القيمة القصوى للإختلاف للقيم المحسوبة عند كل مساحات الحقول مقارنة مع القيم المحسوبة عند مساحة الحقل 15x15 cm² وجد أن القيمة القصوى للإختلاف للقيمة القصوى للإختلاف للقيمة القصوبة عند كل مساحات الحقول مقارنة مع القيم المحسوبة عند مساحة الحقل 5x5 cm² وجد أن القيمة القصوى للإختلاف للقيمة القصوى للإختلاف للقيمة القصوبة عند كل مساحات الحقول مقارنة مع القيم المحسوبة عند مساحة الحقل 5x5 cm² وجد أن القيمة القصوى للفارق تكون أقل من 20 MeV جميع الحزم الإلكترونية، باستثناء مساحة الحقل 5x5 cm² عند القصوى للفارق تكون أقل من 6x وجميع الحزم الإلكترونية، باستثناء مساحة الحقل ألحمى عند عند الحرمة الإلكترونية وحمد 0.62 هو أقصى قيمة للاختلاف مع الحزمة الإلكترونية باستثناء الحقول ألحمي وجميع الحزمة وحمد 0.62 هو أقصى قيمة للاختلاف مع الحزمة الإلكترونية بالكترونية وصلت فيها القيمة الحموى للإكترونية ألحمي ألحمي ألحمي ألحمي ألحميع الحزم الإلكترونية، باستثناء مساحة الحقل 0.62 من 0.62

و بالنسبة لتأثير الطاقة على قيم المسارات \overline{E}_{0}, E_{P} و الطاقات $R_{P}, R_{50}, R_{90}, R_{100}$ و من منحنى النسبة المئوية لعمق الجرعة، تم التوصل إلى أن كل قيم المسارات تزيد بزيادة الطاقة حيث من منحنى النسب إلى أنه كلما زادت الطاقة زادت قوة الإختراق و ذلك للوصول إلى عمق أكبر لإيداع الطاقة حيث القصوى، ويزداد المجال التراكمي (Build-up region) و بالتالي تزيد باقي المسارات. و بالنسبة الطاقات \overline{E}_{0}, E_{P} فقد وجدت الطاقة زادت قوة الإختراق و ذلك للوصول إلى عمق أكبر لإيداع الطاقة القصوى، ويزداد المجال التراكمي (Build-up region) و بالتالي تزيد باقي المسارات. و بالنسبة الطاقات \overline{E}_{0}, E_{P} فقد وجدت أنها تزداد بزيادة الطاقات أيضا لأنها مرتبطة خطيا \overline{E}_{0}, E_{P} على التوالي، و الطاقات عند السبة الحرية عند السطح (\overline{C}_{surf}) فقد لوحظ أنها تزيد زيادة منتظمة مع زيادة الطاقة بخلاف الطاقة 6 عند الطاقة بخلاف الطاقة منتظمة مع زيادة الطاقة بخلاف الطاقة 6

بالمقارنة مع ما هو موجود في المجلات العالمية أثبت الكاشف RPL GD-301 توافق كبير بالنسبة لقياسات الجرعة المستخرجة من منحنى النسبة المئوية لعق الجرعة (PDD) مثل المسارات و الطاقات و الجرعة عند السطح.

في الختام يمكننا أن نوصي بإستعمال هذا الكاشف (RPL GD-301) في التحقق من قياسات الجودة عند مختلف طاقات الحزمة و سطوح الحقل.

الملخص

الملخص:

الغرض من هذا العمل هو التحقق مما إذا كان من الممكن استخدام مقياس الجر عات الفلوريات المشعة (RPLGD GD-301) لفحص ضمان الجودة للنسبة المئوية لعمق الجر عة (PDD) لحزم الإلكترونات.

في هذه الدراسة ، تم استخدام رمز محاكاة MCNP5 لحساب الجرعة المودعة في مقياس الجرعات RPL GD-301 للعثور على منحنى PDD. تم استخدام عدة حزم إلكترونية من 4 إلى 20 MeV ومع أسطح حقول مختلفة من 5x5 cm² إلى 20x20 cm².

أظهرت نتائج محاكاة مونت كارلو توافقًا كبيرًا مع الأبحاث المنشورة السابقة والموجودة في المؤلفات حول قيم المسارات $(R_{100},R_{90},R_{50},R_P)$ والجرعة على السطح.

في الختام ، يمكننا أن نستنتج أن كاشف GD-301 RPL يمكن استخدامه لضمان الجودة فيما يتعلق بمنحني PDD للحزم الإلكترونية المستخدمة في العلاج الإشعاعي.

كلمات مفتاحية: مقاييس الجرعاتRPL ، محاكاة مونت كارلو MCNP، تاثير السطح (الحقل) الإشعاعي، الطاقة المودعة، النسبة المئوية لعمق الجرعة RPL GD-301 ، PDD.

Abstract:

The purpose of this work is to verify whether the radiophotoluminescent dosimeter (RPLGD GD-301) can be used for quality assurance checks of the percentage depth dose (PDD) for electrons beam.

In this study, the MCNP5 simulation code was used to calculate the dose deposited in the dosimeter RPL GD-301 to find the PDD curve. Several electronic energies were used from 4 to 20 MeV and with different fields size from $5x5 \text{ cm}^2$ to $20x20\text{cm}^2$.

The results of the Monte Carlo simulation showed considerable compatibility with previous published research found in literature on values of ranges $(R_P \cdot R_{50} \cdot R_{90} \cdot R_{100})$, energies (\overline{E}_0, E_P) and dose at surface.

In conclusion, we can conclude that the RPL GD-301 detector can be used for quality assurance concerning the PDD curve for electronic beams used in radiotherapy.

Keywords:Radiophotoluminescence dosimeters RPL, Monte Carlo simulation, opening, output factor,Energy deposited, percentage depth dose PDD, RPL GD-301.

Résumé :

Le but de ce travail est de vérifier si le dosimètre radiophotoluminescent (RPLGD GD-301) peut être utilisé pour les contrôles d'assurance qualité du rendement de dose en profondeur (PDD) du faisceau d'électrons.

Dans cette étude, le code de simulation MCNP5 a été utilisé pour calculer la dose déposée dans le dosimètre RPL GD-301 afin de trouver la courbe PDD. Plusieurs énergies électroniques ont été utilisées de 4 à 20 MeV et avec différentes surfaces de champ de 5x5 cm² à 20x20cm².

Les résultats de la simulation de Monte Carlo ont montré une compatibilité considérable avec les recherches antérieures publiées dans la littérature sur les valeurs des parcours $(R_P \cdot R_{50} \cdot R_{90} \cdot R_{100})$, des énergies (\overline{E}_0, E_P) et de la dose à la surface.

En conclusion, nous pouvons conclure que le détecteur RPL GD-301 peut être utilisé pour l'assurance qualité concernant la courbe PDD des faisceaux électroniques utilisés en radiothérapie.

Motsclés : Dosimètres radiophotoluminescence RPL, simulation Monte Carlo, facteur d'ouverturedela collimation, Énergie déposée, Rendement de dose en profondeur PDD, RPL GD-301.