جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

رقم الترتيب:.....

الرقم التسلسلي:.....

مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال:علوم المادة

فرع:فيزياء

تخصص:فيزياء إشعاعية

من إعداد: مناصر فاطمة – فروي رنية

بعنوان:

حساب كفاءة كاشف إشعاعات غاما NaI(Tl)

باستخدام محاكاة مونتي كارلو

نوقشت يوم:2020/10/05.

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

خلفاوي فتحي	أستاذ تعليم عالٍ	جامعة ورقلة	رئيسا
شيحي إسماعيل	أستاذ تعليم عالٍ	جامعة ورقلة	مناقشا
عمر بن طويلة	أستاذ محاضر أ	جامعة ورقلة	مشرفا
عياط زهية	أستاذ محاضر ب	جامعة ورقلة	مشرفا مساعدا

الموسم الجامعي:**2020/2019**

بدأنا بكثير من يد، وقاسينا أكثر من همّ، وعانينا الكثير من الصعوبات، وها نحن اليوم والحمد لله

نطوي سهر الليالي وتعب الأيام وخلاصة مشوارنا بين دفتي هذا العمل المتواضع.

إلى منارة العلم والإيمان، إلى الأمّيّ الذي علّم المتعلمين، إلى سيد الخلق رسولنا الكريم **محمد** صلى الله عليه وسلم.

إهداء من فاطمة مناصر : إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء، إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها:**أمي** العزيزة لها أسمى امتناني وتقديري.

إلى من سعى وشقي لننعم بالراحة، إلى الذي لم يبخل عليّ بشيء، وعلمني أن ارتقي سلم الحياة بحكمة وصبر: **والدي** العزيز الدكتور الطبيب علي اهدي له كل محبتي واحترامي.

إهداء من رانية فروي:إلى سيدة جميع النساء: **أمي** الغالية، قد علمونا في المدارس بيت الشعر القائل :

ما كل ما يتمناه المرء يدركه – تجري الرياح بما لا تشتهي السفن

لكن وحدكِ من علمتني :

تحت الرياح وتحت البحر والسفن إن الذي يرتجي شيئا بهمته ....يلقاه لو حاربته الإنس والجن،

المدارس علمتنا الرضا بالواقع وأنت علمتني كيف اصنع واقعي .

إلى **أبي** الذي لطالما أراد أن يرى ابنته الكبرى خريجة من الجامعة، إلى الذي كرس حياته للعمل من اجل دراستنا ، جعلت مني فتاة قوية ولم تخضع يوما إلى أقاويل المجتمع أو العادات والتقاليد، إن الأحلام متاحة مداه الحلال بين والحرام بين

.

إلى كل شخص غير حياتنا وساهم في نجاحنا ووصولنا لنهاية المشوار ألف تحية وشكر لهم جميعا .

كلمة شكر وعرفان

الحمد الله الذي أنار لنا درب العلم والمعرفة وأعننا ووفقنا لهذا العمل المتواضع، قال تعالى:﴿ ... وَلَا يُلَقَّاهَا إِلَّا الصَّابِرُونَ ﴾ [القصص 80].

بعد صبر جميل وعناء طويل، نصل للختام وحصد الثمار، فالحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات حمدا كثيرا طيبا. ولقول قدوتنا الحبيب المصطفى محمد صلى الله عليه وسلم:" من لم يشكر الناس لم يشكر الله، و من أسدى إليكم معروفا فكافئوه فإن لم تستطيعوا فادعوا له"، فنقدم أسمى عبارات الشكر والعرفان و الاحترام إلى أعضاء لجنة المناقشة: الأستاذ الدكتور خلفاوي فتحي، رئيسا، و الأستاذ الدكتور شيحي إسماعيل، مناقشا، على قبولهم تنقيح هذه المذكرة وإخراجها في أبهى حلة .

كما نسدي جزيل الشكر والاعتراف بالجميل للأستاذ الكريم بن طويلة عمر على قبوله تأطير هذه المذكرة و مجهوداته الدائمة لنا لانجازها، والذي نعتبره المثل الأعلى في رفعة العلم والخلق ونتمنىّ من الله عز وجل إن يبارك فيه ويجازيه عنا خير الجزاء، ولا ننسى بالذكر والشكر الأستاذة عياط زهية مساعدتنا في هذا العمل.

ونتوجه أيضا بالشكر والتقدير إلى مدير وأعضاء مخبر تطوير الطاقات الجديدة والمتجددة في المناطق الجافة والصحراوية (LERENEZA) على تقديم الأحسن لسيرورة عملنا و مساعدتهم لنا في إعداد هذه المذكرة.

وفي الأخير، لا يسعنا إلا أن نقدم كل التحية والاحترام إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد، ووقف معنا خلال كل هذه المدة.

الطالبتان: مناصر فاطمة – فروي رنية

فهرس المحتويات	الصفحة

الإهداء

التشكرات

فهرس المحتويات..... I

فهرس الجداول..... V

فهرس الأشكال..... VI

مقدمة عامة..... 1

الفصل الأول : عموميات حول الإشعاع المؤيّن

I– 1 مقدمة..... 4

I–2مفهوم الإشعاع..... 4

I–2–1 الاشعاع غير المؤين..... 6

I–2– 2الاشعاع المؤين..... 6

I–2–2–1 أنواع الاشعاعات المؤيّنة..... 6

I–3 التفاعل إشعاع – مادة..... 7

I–3–1 التوهين 7

I–3–1–1 معامل التوهين..... 8

I–3–1–2 طبقة نصف قيمة التوهين..... 9

I–3–1 التأثير الكهروضوئي..... 10

I–3–2 تأثير كومبتون..... 11

I–3–3 إنتاج الأزواج..... 12

I-3-4التحلل الفوتوني..... 13
I-4النشاط الإشعاعي..... 13
I-5 التأثيرات البيولوجية للإشعاع..... 14
I-5-1التأثير المباشر للإشعاع..... 14
I-5-2 التأثير غير المباشر للإشعاع..... 15
I-5-3 التأثيرات الجسمية المبكرة..... 15
I-5-4التأثيرات الجسمية المتأخرة..... 16
I-5-4-1سرطان الدم "اللوك?م?ا"..... 16
I-5-4-2 سرطان العظام..... 16
I-5-4-3سرطان الغدة الدرقية..... 16
I-6 الوقا?ة من الإشعاع في أقسام الطب النووي..... 17
I-7التطبيقات الطبية للأشعة المؤينة..... 18
الفصل الثاني: كواشف الإشعاع
II-1 مقدمة..... 20
II-2مختلف أنواع الكواشف..... 20
II-2-1 الكواشف الفيزيائية..... 20
II-2-1-1 الصفائح الفوتوغرافية..... 20
II-2-1-2 المسعرية الحرارية..... 22
II-2-1-3. كواشف الأثر النووية الصلبة..... 22
I-2-2الكواشف الإلكترونية..... 23
II-2-2-1 الكواشف الغازية..... 23

II-2-2-2 الكواشف الصلبة..... 27
❖ الكواشف من أنصاف النواقل 28
❖ الكواشف الوميضية 29
أ) مكونات الكاشف الوميضي..... 30
ب) أنواع المواد الوميضية..... 31
• استخدام الكواشف الوميضية للكشف عن اشعاعات غاما و الأشعة السينية..... 33
• II – 3 المقارنة بين الكواشف..... 33
الفصل الثالث: تعيين كفاءة كواشف الإشعاع
III-1 مقدمة..... 37
III-2المبدأ الهندسي للكشف عن الإشعاع..... 37
III-3كفاءة الكاشف..... 39
III-4مردود الكاشف..... 40
III-5الكفاءة الذاتية لكاشف..... 40
III-6 طرق تعيين كفاءة الكاشف..... 41
III-6-1الطريقة التحليلية..... 41
III-6-1-1الخلفية الرياضية لحساب الزاوية الصلبة..... 41
III-6-1-2 الكفاءة الذاتية للكاشف..... 42
III-6-2 طريقة مونتي كارلو..... 44
III-6-2-1 المحاكاة العددية باستخدام طريقة مونتي كارلو..... 45
III-6-2-2 تطبيق طريقة مونتي كارلو لحساب كفاءة الكاشف..... 46
الفصل الرابع: النتائج والمناقشة

1.VI مقدمة..... 51
2.VI النتائج والمناقشة..... 51
1.2.VI حساب معاملات التوهين الخطّي..... 51
2.2.VI اختبار نجاح البرنامج المكتوب..... 54
3.2.VI دراسة تأثير المسافة مصدر – كاشف على الكفاءة الكلّية للكاشف..... 57
4.2.VI دراسة تأثير أبعاد المصدر على الكفاءة الكلّية للكاشف..... 60
الحوصلة العامة..... 63

فهرس الجداول

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
جدول (II-1)	خصائص بعض المواد الوميضية	32
جدول (II-2)	مميزات الكواشف	35
الجدول (IV.1)	قيم مُعاملات التوهين الكُتلي والخطي لبلورة NaI من أجل طاقات مختلفة لأشعة غاما باستعمال برنامج XCOM	53
الجدول (IV.2)	مقارنة قيم الكفاءة الكلية المحسوبة لكاشف NaI(Tl) أبعاده 3"x3" (7.62cmx7.62cm) من أجل إشعاعات غاما مُنبعثة من مصدر نقطي يبعد عن الكاشف بمسافات0.001cm, 10cm, 0.5cm مع نتائج دراسات سابقة	56
الجدول (IV.3)	الكفاءة الكلية المحسوبة لكاشف NaI(Tl) أبعاده 2"x2" (5.08cmx5.08cm) من أجل إشعاعات غاما مُنبعثة من مصدر نقطي متوضّع شاقوليا بالنسبة للكاشف	58

فهرس الأشكال

رقم الشكل	العنوان	الصفحة
الشكل (I.1)	أنواع الإشعاعات	5
الشكل (I-2)	توزّع الإشعاعات حسب التردد والطاقة	5
الشكل (I.3)	توهين حزمة فوتونات	8
الشكل (I-4)	التأثير الكهروضوئي	10
الشكل (I-5)	تأثير كومبتون	12
الشكل (I-6)	إنتاج الأزواج	13
الشكل (II-1)	مخطط لجهاز كشف غازي	24
الشكل (II-2)	مختلف أنماط تشغيل كاشف غازي	25
الشكل (III-1)	هندسة الكاشف	38
الشكل (III-2)	الزاوية الصلبة	42
الشكل (III-3)	رسم تخطيطي يوضح طريقة حساب الكفاءة الذاتية للكاشف	43
الشكل (III-4)	رسم تخطيطي لمصدر نقطي مثبت بشكل محوري مع كاشف اسطواني	47
الشكل (III-5)	مخطط انسيابي يُوضح خطوات تطبيق طريقة مونتي كارلو لحساب كفاءة الكاشف (NaI(Tl من أجل منبع نقطي	49
الشكل (IV.1)	تغيّر معامل التوهين الكتلي μ_L لبلورة NaI بدلالة طاقة إشعاع غاما في المجال الطاقوي [50-500keV]	52
الشكل(IV.2)	منحنى تغير الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع من أجل d= 0.001 cm	54

الشكل(3.IV)	منحنى تغير الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع من أجل d= 0.5 cm	55
الشكل(4.IV)	تغير الكفاءة بدلالة الطاقة من أجل d=0.001cm و d=0.5cm	57
الشكل (5.IV)	تغيّر كفاءة كاشف NaI(Tl) أبعاده "2x2" بدلالة الطاقة من أجل عدّة مواضع للمصدر	59
الشكل (6.IV)	تغيّر كفاءة كاشف NaI(Tl) أبعاده "2x2" بدلالة البعد مصدر – كاشف من أجل عدّة طاقات لإشعاع غاما	59
الشكل (7.IV)	مقارنة بين كفاءة كاشفين مختلفي الأبعاد "2x2 و "1x1 عندالطاقة 50 keV.	60
الشكل (8.IV)	مقارنة بين كفاءة كاشفين مختلفي الأبعاد "2x2 و "1x1 عندالطاقة 3000 keV	61

مقدمة عامة

مقدمة عامة

الأشعة جزء لا يتجزأ من هذا الكون الذي أبدعه الخالق عز وجل ، و تعتبر الأشعة أحد أهم الأركان الرئيسية للحياة ، فالأشعة التي تصل أرضنا من الشمس هي وسيلة انتقال الحرارة من هذا النجم إلينا، وبالتالي فهي المصدر الذي لا ينضب للطاقة والحرارة.

أدى التطور العلمي و التقني قبل حوالي قرن من الزمان ، للكشف عن أنواع أخرى من الأشعة التي تعم هذا الكون و توجد فيه منذ خلقه ، منها تلك التي ترد إلينا من الفضاء الخارجي الشاسع وهي الأشعة المعروفة حاليا باسم الأشعة الكونية، وتلك التي تنطلق إلينا من سطح الأرض بل ومن ذات أجسامنا، وقد وصفت هذه الأشعة سواء الكونية أوالأرضية بالأشعة المؤينة، حيث يتركز مفعولها في تأيين ذرات المادة التي تسقط هذه الأشعة عليها. كما أصبح استعمال الإشعاع جزءا لا يتجزأ من الحياة العصرية سواء كان من ناحية تشخيصية أو علاجية، ذلك أن التطبيقات الطبية متوفرة في أغلب مستشفيات كل مجتمع تقريبا.

وبزيادة استخدام الأشعة المؤينة يزداد التساؤل الدائم حول تأثير هذه الأشعة على الإنسان، ولأن الوقاية خير من العلاج اتجه العلماء إلى ابتكار أجهزة حساسة للإشعاع أو ما يطلق عليها بكواشف الإشعاع، والتي نجد من بينها الكواشف الوميضية مثل الكواشف ذات بلورة يوديد الصوديوم المشبعة بالتاليوم ((NaI(Tl))، التي تستخدم على نطاق واسع للكشف عن أشعة غاما و هذا راجع لأدائها المثير للاهتمام حيث يمكن استخدامها عند درجة حرارة الغرفة (لا تتطلب نظام تبريد) وكذلك لخصائصها الفيزيائية ولتكلفتها المنخفضة نسبيا.

تستخدم تقنيات الكشف عن الإشعاعات المؤينة بشكل كبير في القياسات الطيفية من أجل عدة تطبيقات نذكر منها الفيزياء النووية و دراسة الأشعة الكونية و التطوير الطبي ، حيث تستخدم هذه الأجهزة التي استطاعت إنقاذ العديد من أرواح البشر الذين يعانون من مختلف الأمراض للعلاج أو الكشف عنها، وذلك عن طريق تلقي و انبعاث الإشعاعات من مادة معينة أو جسم كائن حي إلى الجهاز الكاشف وتؤخذ المعلومة المتحصل عليها لمساعدة الطبيب وتيسير عمله، فهو لا يستغني عن الفيزيائي الذي كان يسعى دائما لتقديم أفضل الوسائل والتقنيات الطبية، فهما ثنائي متكامل لإيجاد حل لمختلف أمراض العصر المستعصية و المستجدة كالأورام السرطانية و الدماغية ، وحاليا نخص بالذكر ظهور و انتشار وباء كوفيد 19 الذي جعل العالم يتخبط لإيجاد اللقاح المناسب له، حيث تتسارع جهود العلماء لتطوير وسائل الكشف المبكر ولتحديد العلاج المناسب.

كلّ هذا جعلنا نفكر في إدراج دراسة كهذه تختص بالمجال الطبي الخادم للإنسانية، تكون فيزيائية بحتة ، الهدف منها هو حساب فعالية الكاشف الوميضي NaI(Tl) لإشعاعات غاما بلستعمال طريقة مونتي كارل ، وذلك بإعداد برنامج حاسوبي يوفّر قاعدة معطيات وفق طاقة الإشعاع وأبعاد الكاشف والبعد بين المصدر المشع والكاشف. هذه الدراسة تكون مقتصرة هنا على اعتبارات هندسية تفترض أنّ ال كاشف الوميضيNaI(Tl) أسطواني الشكل ، وأنّه يستقبل أشعة غاما من مصدر نقطي مثبت بشكل عمودي وفق محور الأسطوانة.

تحتوي هذه الدراسة على أربعة فصول:

- الفصل الأول نقدّم فيه عموميات حول الإشعاع المؤيّن: تعريفه، أنواعه، تفاعله مع المادة، تأثيراته البيولوجية، تطبيقاته الطبية.

- الفصل الثاني نتطرّق فيه إلى تعريف كواشف الإشعاع المؤين وأنواعها ومبادئ عملها، والمقارنة بينها بشكل مختصر.

- الفصل الثالث مخصّص لعرض طرق حساب فعالية كاشف NaI(Tl) اسطواني الشكل مع مصدر نقطي لإشعاعات غام ا موضوع بشكل شاقولي مع الكاشف ، مع التركيز على طريقة مونتي كارلو المُطبّقة لحساب فعالية هذا الكاشف.

- الفصل الرابع نعرض فيه ونناقش النتائج المتحصل عليها بواسطة تطبيق محاكاة مونتي كارلو لكاشف NaI(Tl) أسطواني الشكل ومصدر نقطي مشع.

وقد اختتمنا موضوعنا بخلاصة تحوصل الخطوات المتبعة وكذا التطرق لأهم النتائج المتحصل عليها، كما ذكرنا فيها مجموعة من الاقتراحات والآفاق المستقبلية للعمل بمثل هذه التقنيات.

الفصل الأول

عموميات حول الإشعاع المؤيّن

الفصل الأوّل

عموميات حول الإشعاع المؤيّن

I– 1 مقدمة

الإشعاع الكهرومغناطيسي هو شكل من أشكال نقل الطاقة،يشمل هذا المصطلح كلا من الإشعاع المؤين (أشعة X، أشعة γ) والإشعاع غير المؤين (موجات الراديو،الأشعة تحت الحمراء،الضوء المرئي.). تختلف أنواع الإشعاع باختلاف نوع وكمية الطاقة الكهرومغناطيسية التي تحتويها،كما أنها تختلف حسب الطبيعة والتأثيرات التي تنتجها.

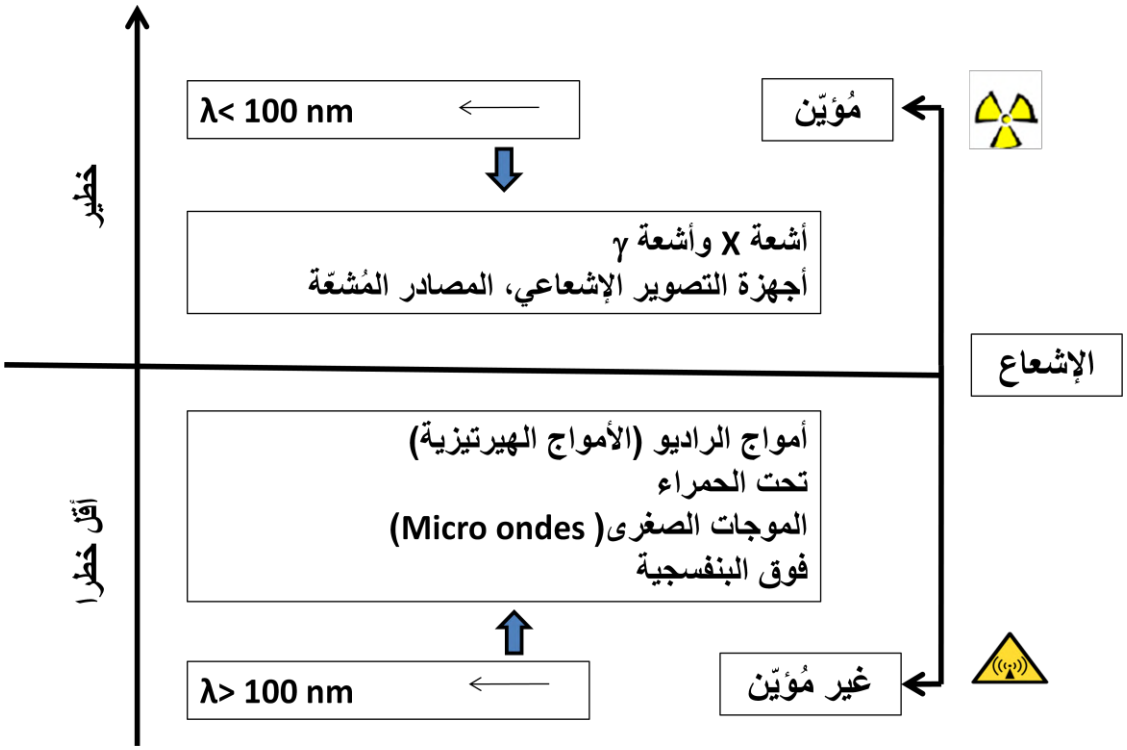
في هذا الفصل سنتطرق إلى أهم المفاهيم حول الإشعاع المؤيّن وكذا تفاعله مع المادة.

I–2 مفهوم الإشعاع

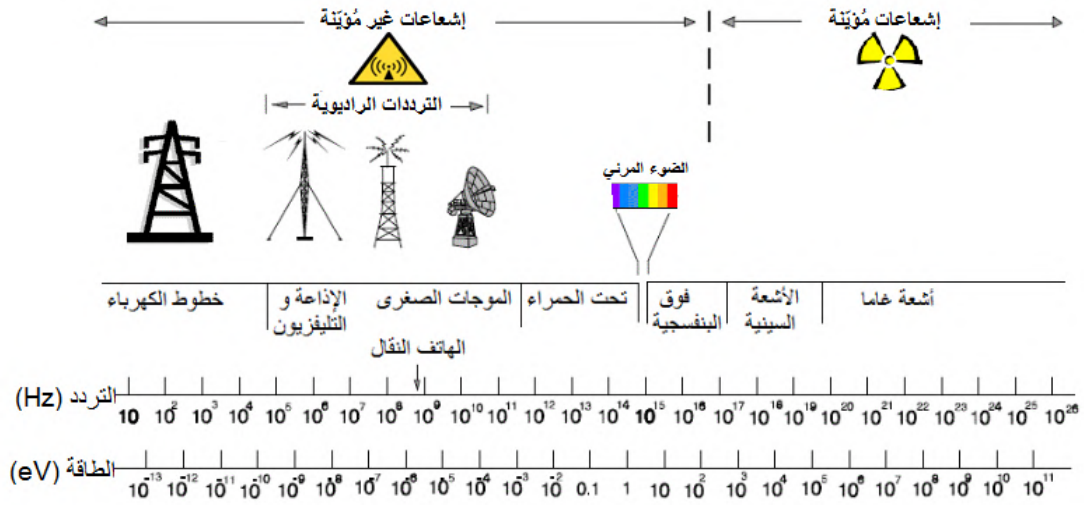
في الفيزياء، يشير مصطلح الإشعاع إلى عملية انبعاث أو انتقال للطاقة على شكل جسيمات أو موجات كهرومغناطيسية، والتي يمكن أن تحدث عن طريق الإشعاع الكهرومغناطيسي (مثل أمواج الراديو، الأشعة المرئية، تحت الحمراء، الأشعة السينية، أشعة غاما...) أو عن طريق التفكك الإشعاعي (مثل: النشاط الإشعاعي α، β، النيوترونات...).

يشير مصطلح "الإشعاع" أيضًا إلى الطاقة المنبعثة والمنتشرة، والتي تسمى أيضًا "الطاقة المُشعة"، فنقول الإشعاع الضوئي والإشعاع الحراري، كما يعتبر الإشعاع، أحد الأساليب الثلاثة لنقل الحرارة إلى جانب التوصيل الحراري والحمل الحراري.

هناك نوعان من الإشعاع[1]: الإشعاع المُؤيّن والإشعاع غير المُؤيّن كما هو موضّح في الشكل (1.I)، فيما يُوضّح الشكل (2-I) توزّع الإشعاعات حسب التردد والطاقة.



الشكل (1.I): أنواع الإشعاعات



الشكل (2-I):توزّع الإشعاعات حسب التردد والطاقة.

I-2-1 الاشعاع غير المؤين

الإشعاع غير المؤين هو المصطلح المستخدم لوصف جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يغطي منطقتين رئيسيتين هما الإشعاع الضوئي (الأشعة فوق البنفسجية والمرئية والأشعة تحت الحمراء) والمجالات الكهرومغناطيسية (ترددات حقول الطاقة الكهربائية العالية،الموجات الصغرى،ترددات الراديو)[1].تكون الطاقة الكهرومغناطيسية التي يحملها كل فوتون في هذا الإشعاع غير كافية للتسبب في تأيين الذرات أوالجزيئات (أقل من 13.6 إلكترون فولط).

I-2- 2الاشعاع المؤين

يقصد بالإشعاع المؤين تلك الأشعة القادرة على تفكيك الذرات والجزيئات التي تتكون منها المادة ومن ضمنها أجسام الكائنات الحية، وهي شكل من أشكال الطاقة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة يتعرض لها الجسم فتنتقل طاقتها إليه وتؤدي إلى أضرار متفاوتة على حسب الجرعة التي يتعرض لها الجسم.وتستخدم المواد المشعة المصاحبة للتقنية النووية في عدة مجالات لصالح الإنسان مثل الطب النووي والعلاج التشخيصي والصناعة النووية وغيرها[2].

I-2-2-1 أنواع الاشعاعات المؤيّنة

من الناحية العملية، تعني الأشعة المُؤينة أشعة X أو أشعة غاما،ولكن أيضًا بعض الإشعاعات الجسيمية، خاصة الإلكترونات، ويمكن تقسيم الإشعاع المؤين إلى نوعين:

- **إشعاع تأين مباشر:** هو إشعاع يتمكن من تأيين الذرة بصفة مباشرة حيث يقوم بتحرير إلكترونات وبروتونات وجسيمات ألفا. الجسيمات المشحونة، والإلكترونات، والبروتونات، وجسيمات ألفا تكون مُؤينة بشكل مباشر . بواسطة تفاعل كولوم، تفقد هذه

الجسيمات،التي تمتلك طاقة حركية عالية، طاقتها في الوسط البيولوجي وبالتالي تخضع لإبطاء مستمر خلال عبورها المادة بسبب التفاعل مع الكترونات المادة[3] .

- **إشعاع تأين غير مباشر:** وهو إشعاع يتفاعل مع الالكترون أو النواة فينتج جسيمات مشحونة تقوم بتأيين الذرة وقد يكون هذا الإشعاع جسيمات غير مشحونة كالنيترونات أو أشعة غاما أو الأشعة السينية[3] .

I-3 التفاعل إشعاع – مادة

عندما يُصادف الفوتون، أثناء انتقاله، مادةً مّا ذات سمك محدود، فإنه إمّا يعبرها بدون تفاعل وبدون تغير في اتجاهه، وإمّا يتفاعل مع جسيمات هذه المادة. في الحالة الأخيرة، جزء من طاقة الفوتون ينتقل إلى عناصر المادة وجزء آخر يعاد إصداره على شكل فوتون أو عدّة فوتونات وهذا ما يسمى بالانتثار أو التشتت (diffusion). الطاقة المنتقلة إمّا يتمّ امتصاصها أو يتم انتثار جزء منها على شكل فوتونات.

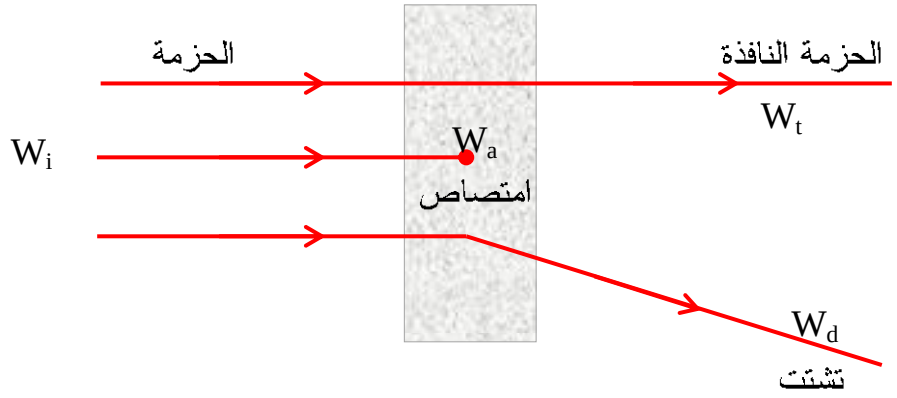
I-3-1 التوهين

لنعتبر عددا كبيرا من الفوتونات أحادية الطاقة (أحادية الطول الموجي)، طاقتها الكلّية الواردة قبل عبور المادة هي W_i، ولتكن W_t هي الطاقة النافذة الموافقة للفوتونات التي لا يحدث لها أي تفاعل، و W_a هي الطاقة الممتصة، و W_d هي طاقة الفوتونات المتشتّتة [4] (الشكل I-3). مبدأ انحفاظ الطاقة يسمح لنا بكتابة :

$$W_i = W_t + W_a + W_d \qquad \textbf{(1-I)}$$

الطاقة الضائعة خلال عبور المادة هي:

$$W_i - W_t = W_a + W_d \qquad \textbf{(2-I)}$$



الشكل(3.I): توهين حزمة فوتونات

يعتمد تفاعل إشعاع مع المادة على طبيعة الإشعاع وخواصه ، فالجسيمات المشحونة كهربائيا كجسيمات ألفا والبروتونات تتفاعل مع المادة محدثة تأين فيها، ويكون هذا التأين ناتجا عن المجال الكهربائي المحيط بالجسيم المشحون، وغالبا يكون تفاعل الجسيمات المشحونة مع الغلاف الخارجي للنواة حيث تفقد هذه الجسيمات نوعا من طاقتها وتتحرك بعدها ببطيء،أما النيترونات فتتفاعل مع نوى الذرات محدثة:

- **التفاعلات المرنة:** وهي التفاعلات المتسببة في انحراف الجسيمات دون إثارة نواة الذرة.
- **التفاعلات غير المرنة:** وهي التفاعلات المتسببة في اثارة نواة الذرة وذلك لامتصاصها جزء من طاقة الجسيمات وقد يكون هذا التفاعل مصحوبا بإشعاع وانشطار نوعي.

I-1-3-1 معامل التوهين

نفترض حزمة من الفوتونات وحيدة الطاقة شدتها I_0 تعبر مادة سمكها محدود. بعد قطعها لمسافة dx داخل المادة، فإن الشدّة تتناقص (وبالتالي يختفي عدد من الفوتونات)، هذا التناقص يُعطى بالعلاقة [4]:

$$\frac{dI}{dx} = -\mu_L I(x) \qquad \textbf{(3-I)}$$

ونجد قيمة الشدة النافذة I من أجل مادة سمكهاx بالعلاقة:

$$I = I_0 e^{-\mu_L x} \qquad \textbf{(4-I)}$$

حيث μ_L هو معامل التوهين الخطي للفوتونات، وحدته cm^{-1}، والذي يُعرّف على أنه احتمال تفاعل إشعاع مع مادة لكل وحدة طول مسار، وهو أهم كمية تميز تغلغل وانتشار إشعاع غاما (γ) في وسط ما. تعتمد قيمة معاملات التوهين الخطي على طاقة الفوتونات الساقطة والعدد الذري وكثافة المادة التي تعبرها هذه الفوتونات. بالنظر إلى أن معامل التوهين الخطي يعتمد على الكثافة (ρ)، وبالتالي على الحالة الفيزيائية للوسط، فقد تمّ تعديله إلى معامِل التوهين الكتلي μ_m،وهو معامل التوهين الخطي لكل وحدة كتلة سطحية من المادة، ويعطى بالعلاقة :

$$\mu_m = \frac{\mu_L}{\rho} \quad (\frac{cm^2}{g}) \qquad \textbf{(5-I)}$$

معامل التوهين الكُتلي لا يتعلقّ بالحالة الفيزيائية للوسط (كثافته)، ويُعتبر كمؤشر لمقدار ما سيختفي من الحزمة الإشعاعية بعد عبورها لسمك مُعيّن من المادة.

I-3-1-2 طبقة نصف قيمة التوهين

طبقة نصف قيمة التوهين، ويطلق عيها بالإنجليزية : Half value layer (HVL) ، وبالفرنسية : Couche de demi-atténuation(CDA)، هي نظام هندسي وضع لتحديد سمك المادة المطلوبة من أجل إضعاف وتوهين كمية الأشعة (السينيةأو غاما) إلى نصف قيمتها الأصلية أثناء انتشارها في الهواء [6,5] ، أي أنّ:

$$I_{CDA} = \frac{I_0}{2} \qquad \textbf{(6-I)}$$

من جهة أخرى، وباستخدام العلاقة (4-I)، يمكننا إيجاد طبقة نصف قيمة التوهين (CDA) كما يلي :

$$I_{CDA} = I_0 e^{-\mu_L(CDA)} \qquad \textbf{(7-I)}$$

بمقارنة العلاقتين: (6-I) و(7-I) نتحصّل على :

$$CDA = \frac{ln2}{\mu_L} \approx \frac{0.693}{\mu_L} \qquad \textbf{(8-I)}$$

I-3-1 التأثير الكهروضوئي

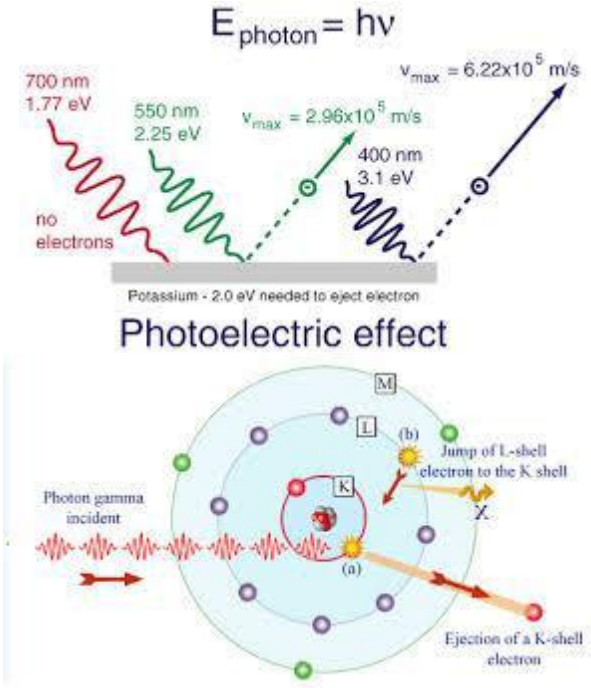
هو التأثير الناتج عن امتصاص المادة لأشعة غاما مع انبعاث إلكترون ذري[7]. جزء من طاقة هذه الأشعة يستخدم لاقتلاع أحد الالكترونات المدارية بينما يحول الجزء الآخر من الطاقة إلى طاقة حركية للإلكترون [3]. أما الفراغ الحاصل من انبعاث الإلكترون خارج الذرة فيُشغل من قبل إلكترون آخر من أحد المدارات العليا مما يؤدي إلى انبعاث فوتوني ذي طاقة مساوية للفرق بين طاقة مداري الانتقال الإلكتروني، وبذلك فان الطاقة الحركية (E_{Ce}) للإلكترون المنبعث من

الذرة تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقطhν وطاقة ربط الإلكترون في مداره E_b [7] ، حسب المعادلة التالية:

$$E_{Ce} = h\nu - E_b \qquad \textbf{(9-I)}$$

أدنى حد لطاقة أشعة غاما المستعملة يكون(0.511 MeV) وهي طاقة ربط الإلكترون.

الشكل (4-I) يوضح عملية التأثير الكهروضوئي.



الشكل (I-4): التأثير الكهروضوئي[8]

I-3-2 تأثير كومبتون

تعتمد ظاهرة كومبتون على الخاصية الجسيمية للضوء ، حيث تفسر أن الضوء يتكون من فوتونات طاقية. وفي هذا التفاعل يعطي الفوتون الساقط جزء من طاقته إلى الكترون حر. فينطلق إلكترون بزاوية مقدارها φ بينما ينحرف الفوتون عن مساره بطاقة أقل من طاقة السقوط

بزاوية α ويعتبر تصادم الفوتون مع الإلكترون تصادما مرنا[3]. يمكن حساب الطاقة المتحولة باستعمال قوانين حفظ الطاقة وكمية الحركة ونحصل على:

$$\frac{hc}{\lambda} + m_o c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + mc^2 \qquad \textbf{(10-I)}$$

حيث:

h: ثابت بلانك

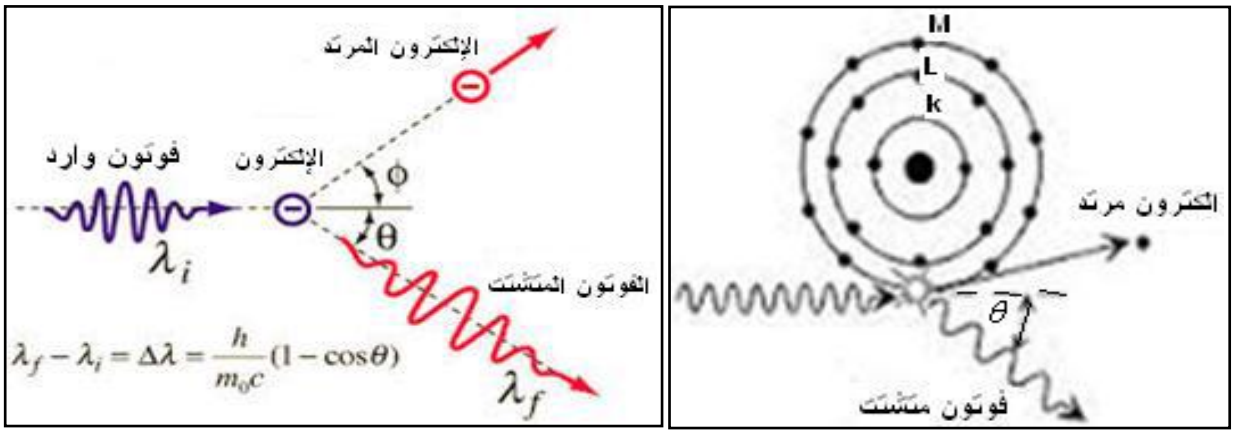
c: سرعة الضوء

λ: الطول الموجي للفوتون الساقط

m_o: كتلة سكون الإلكترون الحر

λ': الطول الموجي للفوتون المشتت

m: كتلة الحركة للإلكترون المرتد

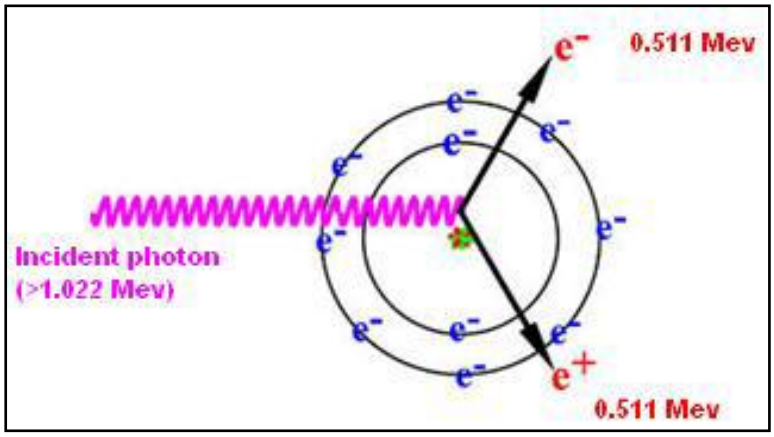


الشكل (I-5): تأثيركومبتون[8]

I-3-3 إنتاج الأزواج

يحدث هذا التفاعل إذا كانت الطاقة الدنيا للفوتون الساقط مساوية لِـــــــــــ1.022Mev، في هذه العملية يتفاعل الفوتون مع المجال الكهرومغناطيسي للنواة فيعطي كل طاقة لينتج زوجا من الجسيمات يمثل في إلكترون سالب وبوزيترون موجب.[2]

الطاقة الفائضة من الفوتون الساقط على الزوج المتولد يقسم بالتساوي على شكل طاقة حركية، وفي حالات قليلة الحدوث يتم التقسيم بشكل آخر. فعلى سبيل المثال يحصل أحد الجسيمات على كامل الطاقة الحركية دون الأخر ويفقدان طاقتهما الحركية عن طريق الإثارة والتأيين وأشعة الكبح، يمكن حدوث هذا التفاعل في حالة اتحاد البوزيترون مع الإلكترون لإنتاج فوتونيين وتسمى بأشعة الفناء[3].



الشكل (I-6):إنتاج الأزواج[8]

I-3-4التحلل الفوتوني

ويحدث هذا التحلل عندما تكون طاقة الفوتون الساقط أكبرمن10MeV حيث يتمكن من الإفلات من التصادم مع الإلكترونات ويمتص من قبل النواة مسببا تهيجها، حيث سرعان ما تحاول التخلص من طاقة التهيج باعثة انشطارات نووية[3].

I-4النشاط الإشعاعي

يعرف النشاط الإشعاعي بأنه تحول تلقائي تتحول من خلاله الأنوية المشعة إلى أنوية أكثر استقرار بإصدار إشعاعات مؤينة[3].يتم انحلال وانبعاث أنوية العناصر وإنتاج جسيمات ألفا وبيتا وأشعة غاما ضمن عملية فيزيائية وإحصائيةٍ معقده نوعا ما،حيث انه من الصعوبة معرفة بالتحديد وقت انحلال ذرة معينة لذا لوحظ بأن عملية الانحلا ل تتم ضمن قانون الانحلال الإشعاعي بناء على عمليات إحصائية ضمن فترة زمنية معينة حيث وجد بأن هذه العملية تتم ضمن تسلسل أسي معين[9] ،أي انه إذا افترضنا وجود عدد من الذرات N_0 عند الزمن صفر فإن هذه الذرات ستتحلل ويصبح عددها بعد زمن معين N،أي أن عددا من الذرات dN ستحلل ضمن الفترة الزمنية dt وفي هذه الحالة يمكن كتابة هذه العلاقة رياضيا بالشكل التالي:

$$dN = -N\lambda dt \qquad \textbf{(11-I)}$$

أي أن عدد الذرات الأصلية يتناقص مع مرور الزمن،وبحل هذه المعادلة رياضيا بالتكامل نجد أن عدد الذرات الباقية بدون انحلال عند زمن معين t يساوي:

$$N(t) = N\,e^{-\lambda t} \qquad \textbf{(12-I)}$$

ويعرف هذا القانون بقانون الانحلال الإشعاعي، حيث أن λ هو ثابت الانحلال الإشعاعي.

I-5 التأثيرات البيولوجية للإشعاع

يتعرض الإنسان بشكل يومي للإشعاع وقد تمكن من معرفة التأثيرات الضارة له قبل معرفة طرق الوقاية منه ،وتتمثّل هذه التأثيرات في ملاحظة سقوط الشعر واحمرار الجلد نتيجة التعرض للأشعة السينية،بالإضافة إلى ارتفاع نسبة الإصابة بسرطان الرئة لدى عمال مناجم

اليورانيوم نتيجة لاستنشاقهم غاز الرادون وغيرها من الحالات التي تم رصدها لدى العاملين في مجال الإشعاع.إن التأثيرات البيولوجية للإشعاع،تعتمد على عدة عوامل أهمها نوع الإشعاع وطريقة التعرض له سواء كان داخلي أو خارجي وحساسية العضو للإشعاع وقابليته لتخزين المواد المشعة في حالة التعرض الداخلي[10]، ويؤثر الإشعاع على خلايا الجسم بطريقتين: مباشرة وغير مباشرة.

I-5-1التأثير المباشر للإشعاع

يحدث هذا التأثير نتيجة التأين أو إثارة المادة المكونة للخلية الحية،حيث يسبب هذا التأثير ضررا لنواة الخلية أو المادة الوراثية فيها نتيجة تكسير الروابط بين جزيئات المادة، مؤديا إلى موت الخلية أو التغيير في الشفرة الوراثية مما ينتج عنه تشكل طفرة من المحتمل أن تكون خلية سرطانية،أو حدوث تشوهات في الخلية أو تفقد المادة الوراثية قدرتها على نقل المعلومات الوراثية للخلايا الجديدة فإن التأثير المباشر للإشعاع يتمثل في تكون الطفرات وانتقالها أو تطورها إلى طفرات أخرى[4].

I-5-2 التأثير غير المباشر للإشعاع

يشكل الماء بنسبة 70%−85% من الجسم الحي وبالتالي فان معظم التأثيرات المباشرة للإشعاع ستحدث في جزيئات الماء مسببة تفككها مما يؤدي إلى إنتاج جذور حرة لها قابلية عالية على التفاعل مكونة بذلك مركبات سامة تؤثر على الخلايا فعند تعرض جزيء الماء للإشعاع يتحلل وفق المعادلة التالية:

$$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + é \qquad \textbf{(13-I)}$$

وعليه فإن الأيون الموجب للماء سيتحلل كالتالي:

$$H_2O + é \longrightarrow H_2O^- \quad \textbf{(14-I)}$$

$$H_2O^- \longrightarrow H + OH^- \quad \textbf{(15-I)}$$

وتمر هذه التفاعلات بعدة مراحل أولها مرحلة التأين والإثارة وزمن هذه المرحلة حوالي 14^{-10} ثانية، تليها المرحلة قبل الكيميائية والتي يبلغ زمنها 10^{-11}ثانية يتم خلالها التحلل ،لتأتي المرحلة التي يتم فيها تفاعل الجذور الحرة مع بعضها أو مع جزيئات أخرى في حال انتشارها يتراوح زمنهابين 10^{-11}الى 10^{-6} ثانية [11].

I-5-3 التأثيرات الجسمية المبكرة

تظهر عندما يتعرض كل الجسم أو جزء كبير منه إلى جرعة عالية من الإشعاع في فترة زمنية قصيرة جدا يوم واحد أو أقل وتسمى هذه التأثيرات بالتأثيرات الحادة وتظهر أثارها في الخلايا الجسدية بعد أن تتجاوز الجرعة حدا معينا ويزداد التأثير البيولوجي للإشعاع زيادة مطردة بعد تجاوز هذا الحد المعين، ومن بين أهم التأثيرات الجسمية المبكرة الناتجة عن التعرض إلى جرع عالية من الإشعاع: الغثيان والقيء، تغير مكونات الدم، احمرار البشرة،الحمى،تساقط الشعر[7].

I-5-4التأثيرات الجسمية المتأخرة

تنشأ التأثيرات المتأخرة عن التعرض المزمن لجرع إشعاعية صغيرة وقد تؤدي الجرع العالية إلى ظهور أعراض متأخرة بعد اختفاء الأعراض الحادة ومن أهم أنواع التأثيرات الجسمية المتأخرة للإشعاع ما يلي:

I-5-4-1سرطان الدم "اللوكيميا"

ينشأ سرطان الدم عند الزيادة الهائلة في عدد كريات الدم البيضاء وهو أكثر أنواع السرطان الناتج عن التعرض للإشعاعات المؤينة حديثا إذ تظهر الإحصاءات أن الأطباء العاملين في حقل الطب النووي يتعرضون إلى الإصابة بسرطان الدم بمعدلات تفوق المعدلات المألوفة [7]

I-5-4-2 سرطان العظام

لقد سجلت حالات إصابة سرطان العظام لدى العاملين في صناعة الساعات في مطلع القرن الحالي حيث يستخدم الراديوم 226 المشع كطلاء فسفوري لعقارب الساعات وكان بعض العمال يستخدمون أقلاما تحتوي على الراديوم يبلونها بأفواههم بين الحين والأخر للإبقاء على دقة رأس القلم. [7]

I-5-4-3سرطان الغدة الدرقية

تبدي الغدة الدرقية لدى البالغين مقاومة نسبية للإشعاع مقارنة بمقاومة اليافعين، فالأطفال أكثر عرضة لهذا المرض.

I-6 الوقاية من الإشعاع في أقسام الطب النووي

يجب على الطبيب والفيزيائي الطبي مراعاة ما يلي:

- يجب اتخاذ القرار المناسب حول أهمية إجراء الفحص للمريض.
- يجب استخدام المادة الكيميائية الحاملة للمادة المشعة المناسبة لنوع الفحص المطلوب
- يجب استخدام الكمية المناسبة من المادة المشعة.

- يجب التأكد أن المادة المشعة قد تم إعطاؤها للمريض المعني.
- يجب التأكد أن أجهزة القياس الإشعاعي تعمل بشكل منتظم.

وحيث أن معظم المصادر الإشعاعية تبعث إشعاعات غاما ذات النفاذية العالية لذلك يجب ارتداء الصدرية الواقية من الإشعاع أثناء الفحوص الطبية كما يمكن تقليل التعرض الإشعاعي باستخدام الحواجز الواقية واستخدام الحقنة الطبية المبطنة بالرصاص أثناء إجراء عملية حقن المريض، كما يجب التأكيد على استخدام المقاييس الشخصية للتعرض الإشعاعي لقياس جرعة الجلد وجرعة الجسم من أجل تقييم معدل الجرعة الإشعاعية [7].

I-7 التطبيقات الطبية للأشعة المؤينة

حدث في العقود الأخيرة من القرن العشرين تطور هائل في تطبيقات الإشعاعات المؤينة والمواد المشعة في عدة من المجالات الصناعية والزراعية والصيدلانية والطبية وغيرها.ومن أهم تطبيقات الإشعاعات والمواد المشعة في الطب ما يلي:

- استخدام الإشعاعات المؤينة أو النظائر المشعة في التشخيص.
- استخدام الإشعاعات المؤينة أو النظائر المشعة في العلاج radiotherapy.
- استخدام الإشعاعات في تعقيم الدم والصيدلانيات والمواد الصيدلانية والمعدات الطبية.
- استخدام الإشعاعات المؤينة لإنتاج اللقاحات المختلفة.
- استخدام النظائر كمصدر للطاقة الكهربائية في الأجهزة التي تغرس في جسم الإنسان كمنظمات ضربات القلب.

مراجع الفصل الأول

[1] John T. Talty, Principles of Nonionizing Radiation, *in* "Industrial Hygiene Engineering" (Second Edition), William Andrew Publishing, 1998, Pages 564-597, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815511755500455

[2] John T. Talty, Principles of Ionizing Radiation, *in* "Industrial Hygiene Engineering" (Second Edition), William Andrew Publishing, 1998, Pages 621-647, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815511755500479

[3] Biologydictionary.net Editors, "Ionizing Radiation", Biology *Dictionary*, Biologydictionary.net, 18 May. 2017, https://biologydictionary.net/ionizing-radiation

[4] André Aurengo, Thierry Petitclerc, Aurélie Kas, Biophysique, 4e édition, Lavoisier, Paris, 2013.

[5] El-Sayed Waly, Michael Fusco, Mohamed Bourham , Gamma-ray mass attenuation coefficient and half value layer factor of some oxide glass shielding materials, Annals of Nuclear Energy 96 (2016) 26–30. DOI: 10.1016/j.anucene.2016.05.028

[6]Salah Belazreg, Rémy Perdrisot, Jean-Yves Bounaud, Biophysique, 3e édition, EdiSience, Dunoud, Paris, 2014 .

[7] إبراهيم مدثر إبراهيم سعيد، مسح إشعاعي للمستشفيات باستخدام غرفة التأين بمحلية الكاملين _ ولاية الجزيرة_ السودان، - Radiation Surveying of Hospitals By Using Ionization Champer Kamlin Locality Gazira State_ Sudan، بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا كلية الدراسات العليا 2015م.

[8] خالد عبد الرحمن، نمذجة الوقاية الإشعاعية لمختبر التحميل بالتنشيط النيتروني، جامعة حلب كلية الهندسة الميكانيكية قسم هندسة الطاقة ، دراسة أعدت لنيل شهادة الدراسات العليا في الهندسة الميكانيكية، 2014م.

[9] مصطفى محمد عبد المهدي المجالي، الوقاية الاشعاعية، المبادئ والتطبيقات، موقع الفريد في الفيزياء، https://www.alfreed-ph.com/2017/06/Radiological-prevention-pdf.html

[10] Effects Of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the of Atomic Radiation, 2006.

[11] Abdelhamid H. Elgazzar, Nafisah Kazem , Biological Effects of Ionizing Radiation.

[12]Biological effects of ionizing radiation, Source: https://www.wikilectures.eu/index.php?oldid=22375

الفصل الثاني

كواشف الإشعاع

كواشف الإشعاع

II-1 مقدمة

تسمى المواد التي تتأثر بالإشعاع بشكل يمكن معه الاستفادة من الأثر الناتج بكواشف الاشعاع، وتستخدم هذه الكواشف عموما لتحديد نوع الإشعاعات و قياس كمياتها وتحديد طاقتها. يتوقف نوع الكاشف المستخدم على عدة عوامل أهمها: نوع الجسيمات أو الإشعاعات المطلوب الكشف عنها، و كذا طاقة الإشعاعات الواردة وشدتها أو كثافة تدفقها، بالإضافة إلى طبيعة المكان الذي سيوضع فيه الكاشف المعين. في هذا الفصل سنتطرق بشيء من الاختصار لمختلف أنواع كواشف الإشعاع، وذلك بشرح مبادئ عملها وكذا مختلف تطبيقاتها.

II-2 مختلف أنواع الكواشف

يقوم مبدأ الكشف عن الاشعاعات في كثير من الكواشف على استخدام ظاهرة تأين أو إثارة الاشعاعات لذرات أو جزيئات المادة عند المرور فيها ، ويُمكن تصنيف كواشف الإشعاع إلى كواشف فيزيائية وكواشف إلكترونية [1].

II-2-1 الكواشف الفيزيائية

II-2-1-1 الصفائح الفوتوغرافية

تاريخيا، تم اكتشاف الاشعاع من خلال الصفائح الفتوغرافية وذلك بمحض الصدفة، حيث كان بيكريل Becquerel يُخزّن أملاح اليورانيوم بالقرب من فيلم فوتوغرافي [2].

مبدأ العمل بواسطة الصفائح الفوتوغرافية يستند على كون أن الإشعاع المؤين له خاصية التأثير على المستحلبات الفوتوغرافية التي تتكوّن من حُبيبات مُعلّقة من بروميد الفضة المتبلورة بالإضافة إلى أيونات الفضة Ag^+ وشوائب S^-، وتتم العملية على ثلاث مراحل[1]:

- يتسبب تفاعل الإشعاع المؤين مع الحُبيبات المعلّقة في تحرير إلكترونات من أيّون البروميد وفق المعادلة :

$$Br^- \longrightarrow Br + e^- \qquad \textbf{(1-II)}$$

- الإلكترون المُحرّر يتم التقاطه بواسطة الكبريت وفق المعادلة :

$$S^- + e^- \longrightarrow S^{-2} \qquad \textbf{(2-II)}$$

- يقوم هذا الكبريت بعملية إرجاع للفضة وذلك بإعطائها إلكترونا:

$$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag \qquad \textbf{(3-II)}$$

يتم بعد ذلك تكوّن حُبيبات (أجنّة) الفضة المعدنية (ذرّتين إلى ثلاث ذرات لكلّ حُبيبة) المسؤولة عن تشكّل الصورة المستترة والتي يتم إظهارها بواسطة عملية التطوير (développment) حيث تُكمل المادّة المُطوّرة (révélateur) عملية إرجاع حُبيبات الفضة ممّا يؤدّي إلى إظهار الصورة.

من بين تطبيقات هذه الكواشف نجد:

- **التصوير الإشعاعي الذاتي Autoradiographie:** حيث يتم الكشف والتحديد الميكروسكوبي للعناصر المشعة في عيّنة صلبة على مستوى الأجزاء الخلوية، على سبيل المثال: دراسة توزيع الجزيئات ذات الأهمية البيولوجية في شرائح رقيقة من الأنسجة.

- **قياس الجرعة الإشعاعية Dosémétrie:** وهي قياس كمية الطاقة المُتخلّى عنها من طرف حزمة إشعاعية خلال عبورها للمادة. فيلم الجرعة الإشعاعية يضمن المراقبة الفردية للعاملين الذين يستخدمون الإشعاعات المؤينة، ويمكن حمله في الجيب الصدري خلال ساعات العمل ويُخزّن في أماكن أقل ما يمكن تعرّضا للإشعاع في باقي الأوقات، ويتم اختياره (أي الفيلم) على حسب طاقة الإشعاع المُراد الكشف عنه.

II-2-1-2 المسعرية الحرارية

مبدأ عملها يستند على كون أنّ التهافت الإشعاعي يفرض تحريرا للطاقة، وبالتالي حرارة بكميّات قليلة. من أجل كمّية حرارة Q ، فإنّ الارتفاع في درجة الحرارة ΔT لكمية m من المادة التي سعتها الحرارية C تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta T = \frac{Q}{m.C} \qquad \textbf{(4-II)}$$

يمكن أن نقيس الجرعة الممتصة في مواد معينة بواسطة تقنية المسعرية الحرارية (قياس كمية الحرارة)، ويتحقق ذلك بقياس تغير درجة الحرارة نتيجة لتوضع طاقة الإشعاع المؤين في المادة. يقاس تغير درجة الحرارة من خلال مقاومات حرارية عبارة عن أنصاف نواقل تبدي تغيراً كبيرا في مقاومتها الكهربائية نتيجة لتغير طفيف في الحرارة. إذا كان قياس التغير في درجة الحرارة بدقة كافية ممكناً عندئذ يمكن الربط ما بينه و بين الجرعة الممتصة [1,3].

II-2-1-3. كواشف الأثر النووية الصلبة

تسمى بالإنجليزية : Solid State Nuclear Track Detector (SSNTDs) ، تعتبر كواشف الأثر الصلبة مواد صلبة عازلة كهربائيا (الزجاج أو الميكا أو البلاستيك) حيث تسمح، بعد هجوم كيميائي مناسب، برصد الأثر الذي يتركه جسيم مشحون ثقيل، أي أنّ هذه المواد لها

القابلية لتخزين أثر إشعاع الجسيمات المؤيّنة على شكل تلف في تركيبها الداخلي والاحتفاظ به لفترة طويلة، هذا الأثر الكامن يُمكن إظهاره بواسطة محاليل كيميائية معيّنة ، حيث تعمل هذه المحاليل على مهاجمة المناطق التالفة (التي تعرضت للإشعاع) بنسبة اكبر من المناطق السليمة لأن هذه المناطق تكون هشّة أكثر من المناطق التي لم تتعرض للإشعاع، ويُمكن ملاحظة هذه المناطق إما باستخدام المجهر الإلكتروني أو المجهر الضوئي. تستعمل هذه التقنية من أجل الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة والتي كتلتها أكبر من كتلة الإلكترونات مثل البروتونات وجسيمات ألفا وشظايا الانشطار ودراسة مساراتها، كما لديها تطبيقات عديدة في الفيزياء النووية، وعلوم الأرض، ودراسة الإشعاع الكوني، وقد تمت محاولة قليلة لاستخدامها في قياس الجرعات[5-1].

I-2-2 الكواشف الإلكترونية

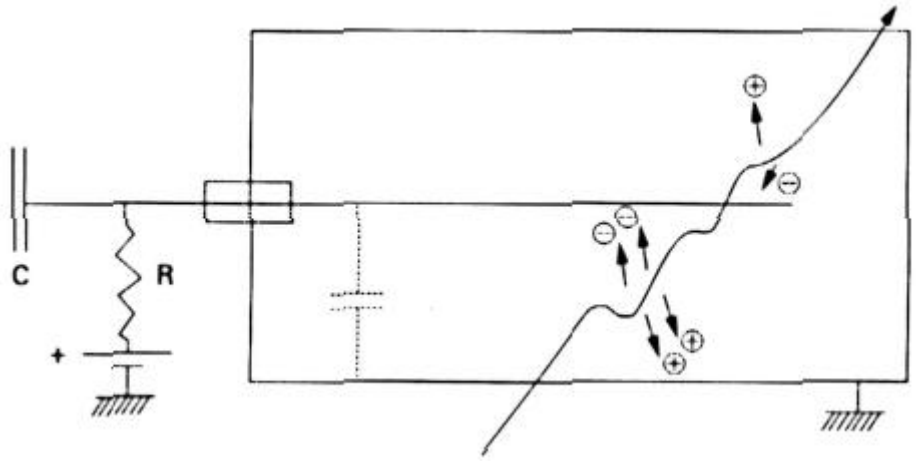
تصنف الكواشف الإلكترونية إلى نوعين رئيسيين وهما : الكواشف الغازية والكواشف الصلبة .

II-2-2-1 الكواشف الغازية

في هذا النوع من الكواشف، يعتمد الكشف عن الإشعاع على ظاهرة تأين و/أو إثارة جزيئات الغاز المستخدم. تستخدم معظم أجهزة الكشف عن الغاز مباشرة الإشارة الكهربائية الناتجة عن التأين الناتج عن الإشعاع المؤيِّن، فالجسيم (أو الإشعاع) أثناء مروره يقوم بتأيين جزيئات الغاز في وسط الكاشف، مما ينتج عنه زوج (إلكترون – كاتيون) لكل عملية تأين.

الجهاز مكون من (انظر الشكل(II-1)):

- حاوية مغلقة تعمل ككاثود يحدّ تجويفا مملوءا بالغاز
- آنود مركزي (سلك) يمر عبر التجويف



الشكل (II–1): مخطط لجهاز كشف غازي [6].

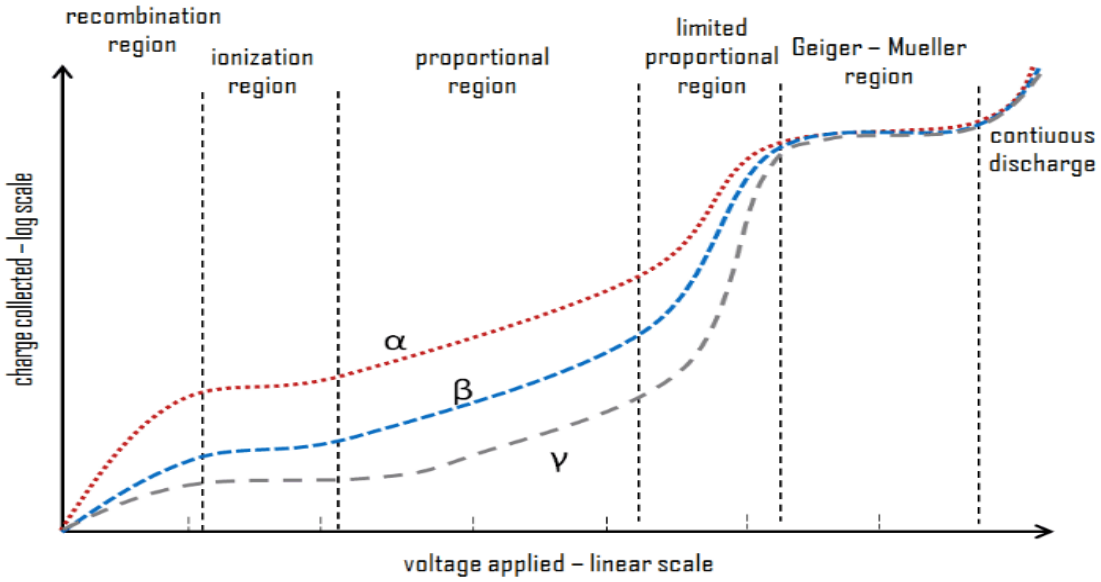
عند تطبيق فرق جهد بين القطبين فإنه:

- في حالة عدم وجود إشعاع مؤين، يكون التيار الكهربائي الذي يمر عبر التجويف مساويًا للصفر بغض النظر عن فرق الجهد المطبق؛
- من ناحية أخرى، إذا دخل جسيم مؤين إلى التجويف، فإنه يتفاعل مع جزيئات الغاز، مما يسبب إنتاج عدد كبير من الإلكترونات والأيونات الموجبة.

تحت تأثير الحقل الكهربائي، تنجذب الإلكترونات نحو الكاثود (القطب الموجب) والأيونات الموجبة نحو الآنود (القطب السالب).

الإشارة التي يتم الحصول عليها سببها الإلكترونات فقط، هذه الإلكترونات تُحرّض على تغيير الجهد عند أطراف المقاومة R. تُشكل كمية الكهرباء المجمعة على الأقطاب الكهربائية نبضة كهربائية قابلة للقياس[1] . إذا تم رسم سعة النبضة كدالة في الجهد (الشكل **II–2**)، فإنه يتم الحصول على رسم بياني يوضح مناطق مختلفة تتوافق مع أنماط تشغيل مختلفة لأجهزة الكشف الغازية، ويعرف هذا المنحنى باسم المنحنى المميز للكواشف الغازية.

اعتمادًا على الجهد المطبق، يختلف نمط تشغيل الكاشف. نرمز بـــ n لعدد التأينات الناتجة عن الإشعاع وبـــ N لعدد الإلكترونات التي تم جمعها على الأنود.



الشكل (II–2): مختلف أنماط تشغيل كاشف غازي [7].

من خلال الشكل (II–2) يمكننا تمييز عدّة مناطق:

- **منطقة إعادة الإتحاد (Recombinaison)(100V >)** : سرعة الإلكترونات تكون منخفضة لأن الجهد الكهربائي منخفض، وبالتالي تتحد الإلكترونات مع الأيونات الموجبة قبل أن تصل إلى القطب الموجب و يكون لدينا N <n. عند الجهد المنخفض (أقل من 100V)، لا يكون الحقل الكهربائي قوياً بما يكفي لتسريع الإلكترونات والأيونات، لذلك فإن الإلكترونات والأيونات تتحد كليًا أو جزئيًا بعد وقت قصير من إنتاجها قبل الوصول إلى القطب الكهربائي وتكون سعة النبضة صفرية أو منخفضة. ومع زيادة جهد الكاشف، سيصل جزء متزايد من الأيونات المنتجة إلى الأقطاب الكهربائية. تستمر هذه الزيادة حتى يتم الوصول إلى جهد "التشبع". نطاق جهد التشغيل حيث يحدث هذا يسمى

منطقة إعادة الإتحاد. لا يوجد كاشف يعمل في هذه المنطقة لأنه لا يمكن تحديد عدد عمليات إعادة الاتحاد ولا عدد أزواج الأيونات المنتجة في البداية بدقة.

- **منطقة التأين (100V – 200V)**: يتم جمع جميع الإلكترونات، وتكون الإشارة ثابتة ومستقلة عن الجهد، ولكن تكون متعلّقة بطاقة الإشعاع، ويكون لدينا $n=N$. في منطقة التأين، لا تؤدي الزيادة في الجهد إلى زيادة كبيرة في عدد أزواج الأيونات المجمّعة. عدد أزواج الأيونات التي يتم جمعها بواسطة الأقطاب الكهربائية يساوي عدد أزواج الأيونات الناتجة عن الإشعاع الساقط، ويعتمد على نوع وطاقة الجسيمات أو الإشعاع الساقط. بالنسبة لجسيم معين، فإن سعة النبضة تكون ثابتة ومستقلة عن فرق الجهد المطبق بين الأقطاب الكهربائية لذلك، في هذه المنطقة، يكون المنحنى مسطحًا. الكاشفات التي تعمل في هذه المنطقة هي غرف التأين.
- **المنطقة التناسبية (300V – 1000V)**: يتم تسريع الإلكترونات بشكل كافٍ لإنشاء تأينات ثانوية: وبالتالي فإن النبضة الكهربائية تتناسب مع الجهد (التضخيم الإلكتروني). مع زيادة فرق الجهد تكتسب الإلكترونات الناتجة عن عملية التأين طاقة كافية لإحداث تأيّنات ثانوية ممـــــــا يضاعف كمية الشحنة ويتناسب التيار الخارج من الكاشف مع الطاقة التي يودعهـــــــــا الإشعاع الساقط داخل الكاشف. بالنسبة لجهد معين، تكون الإشارة متناسبة مع عدد أزواج الأيونات المتكونة وبالتالي مع طاقة الجسيم: $N = k.n$، حيث ثابت التناسب k يتعلّق بالجهد ومستقل عن n. يسمح نموذج التشغيل هذا باكتشاف وعدّ الجسيمات منخفضة الطاقة وفوتونات X و γ. التطبيقات الممكنة هي قياس التعرض (قياس الجرعات، القياسات الطيفية). الكاشفات التي تعمل في هذه المنطقة هي الكاشفات التناسبية.

- **منطقة تناسبية محدودة (1100V – 1000V)** : في المنطقة التناسبية المحدودة، لا يستمر عامل تضخيم الغاز في الزيادة بما يتناسب مع الجهد. الثابت k لا يكون مستقلا عن n. تتسبب التأينات الإضافية والتأثيرات غير الخطية في أن تكون إشارة الخرج غير متناسبة مع الطاقة المودعة عند جهد مطبق معين. يتم تجنب هذه المنطقة بشكل عام كمنطقة اكتشاف.
- **منطقة جيجر– مولر** : في منطقة جيجر– مولر، يكون الجهد الكهربائي، وبالتالي الحقل الكهربائي، قوي لدرجة أن يجعل أزواج الأيونات قادرة على توليد سلسلة ضخمة من أزواج الأيونات والإلكترونات الثانوية وبالتالي يؤدي إلى خروج نبضة بارتفاع وشكل ثابت لا يعتمد على طاقة الإشعاع الساقط ولا نوعيته. وتسمى هذه المنطلقة بمنطقة جيجر– مولر. في هذه الحالة فإن جهد النبضة لا يتعلّق بعدد الإلكترونات الأولية الناتجة عن الجسيم النووي، إذ أنه يكفي تكوّن زوج أيّوني (إلكترون–أيّون موجب) لبدء عملية التفريغ وظهور جهد النبضة، وبالتالي يلاحظ أن جهد النبضة لم يعد يتوقف على طاقة الجسيم النووي المسبب لها، لهذا فإن عدّاد جيجر ـــــ مولر يستخدم لتسجيل عدد الجسيمات النووية دون النظر لطاقاتها.

II–2–2–2 الكواشف الصلبة

المبدأ العام للكشف هو تشكيل شحنة كهربائية من عدد كبير من حاملات الشحنة (إلكترون–أيون موجب) تتناسب في معظم الأحيان مع طاقة الإشعاع المودعة في الكاشف. إن

استخدام مواد صلبة تقوم على هذا المبدأ سيؤدي إلى تحسين مواصفات نظام الكشف وزيادة مردوده. نستطيع تمييز العديد من أنواع الكواشف الصلبة نذكر منها [8] :

❖ **الكواشف من أنصاف النواقل**

تعتمد الكواشف من أنصاف النواقل على نفس مبدأ حجيرات التأين، حيث أن كثافة مادة الكشف فيها تكون عالية جدا إلى الحد الذي يكون فيها الوسط صلبا [9] .

- تؤدي الأشعة المؤينة على نصف الناقل بشكل يتم فيه إنتاج عدد معين من الأزواج الأيونية (إلكترونات–ثقوب)، حيث يكافئ الثقب في الكواشف من أنصاف النواقل الأيون الموجب في الكواشف الغازية [8] .

- في الأخير يتم تجميع الأزواج الأيونية المتولدة (إلكترون–ثقب) بين طرفي مادة نصف الناقل اللذين يكافئان أقطاب التجميع في الكواشف الغازية ، لذا يمكن القول أن الكواشف من أنصاف النواقل ما هي إلا حجيرات تأين صلبة.

- تصنع كواشف أنصاف النواقل عموما من شرائح السيليسيوم والجرمانيوم بأشكال هندسية مختلفة، وحيث أن الطاقة اللازمة لإنتاج زوج أيوني واحد(إلكترون–ثقب)هي نحو3 إلكترون فولط، مقارنة بـــ30 إلكترون فولط في الكواشف الغازية ، الأمر الذي يعكس جودة النبضات الناتجة من تلك الكواشف.

- نظرا للمواصفات التشغيلية الممتازة للكواشف من أنصاف النواقل ، فقد استخدمت في تطبيقات مطيافية المادة كمطيافية ألفا وغاما، إلا أن الكلفة العالية لتصنيعها ، وحساسيتها

العالية للبيئة المحيطة ، و الشروط العالية لتصنيعها، وشروط تشغيلها الخاصة ، جعل استخدامها مقتصرا على المختبرات التحليلية في مراكز البحث العلمي.

تتميز الكواشف المكونة من أنصاف المواصلات بعدة مزايا أهمها ما يلي:

1. صغر حجم الكاشف و سهولة التعامل به.
2. إمكانية إعداد الكاشف على أشكال هندسية مختلفة كالكواشف ذات الثقب المحوري وذلك لإجراء القياسات عند الزوايا القريبة من 180.
3. قدرة تحليلية فائقة الطاقة، حيث تصل القدرة التحليلية لكواشف الجرمانيوم ليثيوم (كواشف من أنصاف النواقل) إلى حوالي 1.7 كيلو إلكترون فولط بالنسبة لإشعاعات غاما ذات طاقة 332 كيلو إلكترون فولط والصادرة من نظير الكوبالت60، الذي يعتبر بمثابة معيار لهذه الخاصية [8] .

❖ **الكواشف الوميضية**

تتميز بعض المواد بخاصية إصدار ضوء لدى تفاعلها مع الاشعاع المؤين ، وتسمى تلك الخاصية بالوماضة، فعند سقوط الجسيمات المشحونة أو الإشعاعات السينية أو إشعاعات غاما على مواد معينة مثل يوديد الصوديوم NaI أو يوديد السيزيوم CSI أو الأنتراسين أو الأستلبين أو غيرها[8] . ينتج عن ذلك وميض ضوئي، ولقد استخدمت هذه الظاهرة للكشف عن الإشعاعات المؤينة بجميع أنواعها و لتحديد طاقتها.

يتألف الحجم الحساس للكاشف من نوعين أساسيين من مواد الكشف:المواد الوميضية العضوية ومن امثلتها البلاستيك والانثراين والاستيتين [11,10] ، والمواد غير العضوية وهي

الأكثر شيوعا في الاستعمال ، ومن أمثلتها يوديد الصوديوم NaI، ويوديد السيزيوم CsI، وكبريتات الزنك ZnS ، ويوديد الليثيوم LiI. إلا أن مادتي NaI وCsI تعتبران الأكثر استعمالا [11]، وفي الآونة الأخيرة اتجه الاستعمال إلى عنصر ($Bi_4Ge_3O_{12}$) الذي يشار إليه عادة بالاختصار BGO، حيث يستعمل بكثرة في التطبيقات التي تتميز بكفاءة عالية [13,12] .

تتميز المواد الوميضية غير العضوية بخصائص الوميض بسبب تركيبتها البلورية أو بسبب الشوائب، بينما المواد العضوية لا تحتاج إلى بنية بلورية أو شوائب لأن كل جزيء يمكن أن يكون بمثابة مركز الوميض. تستجيب المواد الوميضية غير عضوية للإشعاع بشكل أبط أ من الوامضات العضوية لكنها أكثر كفاءة منها للكشف عن الاشعاعت المؤينة بسبب كثافتها العالية، ومع ذلك تُعتبر المواد العضوية أكثر مرونة وأقل تكلفة، مما يؤدي إلى العديد من الجهود لزيادة أدائها في العقود الأخيرة[14] .

أ) مكونات الكاشف الوميضي

يتكون الكاشف الوميضي من عدة أجزاء رئيسية و هي:

- المادة الوميضية
- أنبوب توصيل الضوء
- العاكس الضوئي
- أنبوب التضاعف الضوئي

عند سقوط الاشعاعات أو الجسيمات النووية على المادة تصدر هذه المادة ومضة ضوئية ، تنتقل هذه الومضة عبر أنبوب توصيل الضوء إلى المهبط الضوئي الموجود في أنبوب التضاعف

الضوئي (الفوتوني) ، يقوم العاكس الضوئي بعكس الضوء الواقع عليه وإعادته على المهبط الضوئي للأنبوب حتى لا يضيع جزء من الضوء الناتج عن الجسيم[8] .

عند سقوط الضوء على المهبط الضوئي يتم تضاعف عدد الالكترونات تضاعفا فائقا داخل أنبوب التضاعف الفوتوني ، لتصل الالكترونات في النهاية إلى مصعد أنبوب التضاعف منتجة بذلك نبضة كهربائية على مخرج الأنبوب.

مما سبق يمكن تلخيص عملية الكشف باستخدام الكواشف الوميضية الى ستة مراحل مرتبة كما يلي:

- مرحلة امتصاص طاقة الجسيم النووي داخل المادة الوميضية مما يؤدي الى إثارة أو تأين هذه المادة.
- تحول الطاقة الممتصة في المادة الى ضوء خلال العملية الوميضية.
- انتقال الفوتونات الضوئية الى المهبط الضوئي لأنبوب التضاعف.
- امتصاص المهبط لطاقة الفوتونات الضوئية و انبعاث إلكترونات منه.
- تضاعف عدد الالكترونات داخل أنبوب التضاعف الفوتوني.
- تجميع هذه الالكترونات عند مصعد الأنبوب و تكوين الشحنة الكهربائية.

ب) أنواع المواد الوميضية

تتعدد أنواع المواد الوميضية و تختلف خصائصها اختلافا كبيرا . حيث يجب أن تتوفر في المادة الوميضية الجيدة خصائص عديدة نذكر منها:

- شفافية تامة للمادة بالنسبة للاشعاعات الصادرة منها.
- كفاءة عالية في تحويل طاقة الجسيم النووي إلى طاقة ضوئية.

- صغر زمن التفكك.

ويبين الجدول (II-1) بعض أسماء المواد الوميضية وخصائصها

جدول (II-1): خصائص بعض المواد الوميضية

اسم المادة الوميضية	كثافتها ($غم/سم^3$)	طول موجة الضوء المنبعث (انجستروم)	زمن التفكك τ (ثانية)
بلورة الانثراسين (مادة عضوية)	1.25	4400	$10*2.7^{-5}$
بلورة الاستيلبين (مادة عضوية)	1.15	4100	$10*5-3^{-9}$
يوديد صوديومزود بالتاليوم NaI(Tl)	3.67	4100	$10*2.5^{-7}$
كبريتيد خارصين مزود بالفضة ZnS(Ag)	4.10	4500	10^{-5}

عند دخول الاشعاعات النووية إلى المادة الوميضية تثار المادة و تبدأ بإصدار الفوتونات الضوئية .و يتغير عدد الفوتونات كدالة للزمن وفقا للمعادلة التالية:

$$n= n_0(1-e^{-t}) \qquad (5-II)$$

حيث :

n :عدد الفوتونات الصادرة بعد زمن مقداره tمن لحظة دخول الاشعاعات النووية

n_0: العدد الكلي للفوتونات الصادرة

توضع المادة الوميضية عادة داخل محفظة محكمة الغلق على شكل وعاء . وذلك من أجل حمايتها من الصدمات و للتأكد من عدم وصول الضوء إليها .و تغطى المادة الوميضية بطبقة رقيقة من أكسيد المغنسيوم(Mgo) من جميع الجوانب ما عدا الجانب المتصل بالأنبوب الضوئي فيغطي بطبقة متجانسة السمك من الزجاج النقي لضمان وصول الضوء إلى المهبط الضوئي.

في حالة الكشف عن الجسيمات المشحونة الثقيلة أو جسيمات بيتا باستخدام الكواشف الوميضية يجب عمل نافذة في الحافظة من ورقة من الألمنيوم و ذلك لمنع وصول الضوء من الخارج و في الوقت نفسه يسمح بمرور هذه الجسيمات.

- ✓ **استخدام الكواشف الوميضية للكشف عن اشعاعات غاما و الأشعة السينية**

يتم الكشف عن أشعة غاما أو الأشعة السينية باستخدام الكواشف الوميضية. تستخدم عموما بلورة يوديد الصوديوم المشبعة بالتاليوم كمادة وميضية ، ويفضل استخدام هذا النوع من البلورات للكشف عن أشعة غاما أو الأشعة السينية نظرا لكفاءتها العالية وذلك لكبر كثافتها وكبر العدد الذري للتاليوم واليود. وتعتمد كفاءة الكاشف على كل من سمك البلورة و طاقة الاشعاعات، عموما فإن كفاءة الكواشف الوميضية بالنسبة لإشعاعات غاما تعتبر أعلى من كفاءة الكواشف الغازية بحوالي عشرات أو حتى عدة مئات المرات.

II – 3 المقارنة بين الكواشف

تمتاز الكواشف الغازية بأنها دقيقة في القياس، تعطى قراءات فورية، بسيطة وسريعة في التشغيل،تستخدم لمعايرة الإشعاع، بأشكال و أحجام مختلفة، تقوم بالتصحيح اللازم في زمن

قياسي ومن عيوبها تحتاج لعدد من الوصلات، تحتاج فرق جهد عالي، تتطلب إعادة تصحيح، لا تأخذ أكثر من قراءة.

ومن مميزات الكواشف شبه الموصلة لها قدرة تحليل طاقة عالية جدا مما يجعلها أفضل كاشفات تحليل الطاقة على الإطلاق، التحكم في سمك المنطقة الحساسة وذلك بالتحكم في الجهد العكسي بين طرفي الوصلة الثنائية للكاشف، إمكانية فصل الجسيمات المشحونة عن بعضها البعض باختبار الجيد العكسي المناسب الذي يحدد سمك المنطقة الحساسة الذي يجب أن لا يزيد عن مدى الجسيم، إمكانية عدّ وتحليل الإشعاعات بمعدل عال و ذلك من جراء قصر زمن النبضة الكهربائية الناتجة عن الإشعاع بسبب صغر حجم المنطقة الحساسة.

ومن عيوب الكواشف شبه الموصلة ضرورة التبريد أثناء التشغيل وأحيانا أثناء التخزين مما يجعل هذه الكاشفات مكلفة، كمية الإشعاعات الكبيرة تسبب إتلاف إشعاعي لبعض خصائص هذه الكاشفات، كفاءتها قليلة مقارنة بالكاشفات الغازية والوميضية وذلك لصغر المنطقة الحساسة لهذه الكواشف [15] .

و يبين الجدول (II-2) الخصائص المميزة لكل نوع من الكواشف[14]

جدول (II-2): مميزات الكواشف

نوع الاداة	الكشف الاساسي	تطبيقات
كاشفات غازية	تأين الهواء أو الغازات الأخرى (غرف التأين).	القياس المباشر للتعرض أو معدلات التعرض.
	تأين الغاز مع مضاعفة الإلكترونات في الكاشف (عدادات تناسبية و جيجر مولر).	الكشف عن الأحداث الفردية، مثل جسيمات الفا او بيتا والإلكترونات الثانوية،لقياس النشاط (في العيينات أوعلى الأسطح) ؛ كشف الشدات المنخفضة للأشعة السينية أو أشعة جاما.
كاشفات وميضية	انبعاث الضوء (المواد الصلبة).	الفوتونات. مطياف الطاقة على سبيل المثال : NaI(Tl).
		كشف جسيمات ألفا فقط ((ZnS (Ag)).
	انبعاث الضوء (السائل).	الكشف عن الطاقة منخفضة لبواعث غاما وبيتا ، لقياس النشاط (في المصادر المنخفضة النشاط).
كاشفات أشباه النواقل	التأين والإثارة.	الكشف عن الأحداث الفردية (جسيمات ألفا وبيتا)؛ على سبيل المثال، الثنائيات و كواشف حاجز السيليكون.
		كشف وقياس طاقة الفوتونات أوالجسيمات ؛ للاستخدام المختبري خاصة. التحليل الطيفي لغاما. مقاييس الجرعات الأشعة السينية. ككاشفات الجرمانيوم مثلا.
كاشف حراري- ضوئي	إثارة البلور.اطلاق الضوء طريق التسخين.	رصد التعرض الشخصي والبيئي.
فيلم فوتوغرافي	تأين Ag Br.	رصد التعرض الشخصي.

مراجع الفصل الثاني

[1] A. Charrie, Cours : Détection des rayonnements ionisants, Tutorat Santé Lyon Sud, 2016-2017.

[2] **J. L.** Basdevant, « Henri Becquerel : découverte de la radioactivité », *Bibnum* [En ligne], Physique, mis en ligne le 01 septembre 2008, consulté le 27 septembre 2020. URL : http://journals.openedition.org/bibnum/848

[3] ممدوح برّو، تصنيع مكاشيف هلامية ومعايرتها لقياس الجرعة الإشعاعية الحجمية، دائرة المعايرة الإشعاعية، قسم الوقاية و الأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية، 2008.

[4] M. Monnin, Les détecteurs solides de traces, Radioprotection, Dunod. Vol. 2, n° 2, pages 105-117, 1967.

[5] نسرين محمد الفيتوري، تأثير الإشعاعات المؤينة وغير المؤينة على كواشف الأثر النووي الصلبة، رسالة ماجستير، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بنغازي، ليبيا، 2016.

[6] D. J. Gambini & R. Granier, Manuel pratique de radioprotection, ed. TEC & DOC Lavoisier, 1997.

[7] Gaseous Ionization Detector, Site web : https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/radiation-detection/gaseous-ionization-detector/, Consulté le 27 septembre 2020.

[8] موقع الفريد في الفيزياء: www.alfareed-ph.com ، تمت زيارته 2020/2/20

[9] Marcia Dutra R. Silva, Ionizing Radiation Detectors, Evolution of Ionizing Radiation Research, Mitsuru Nenoi, IntechOpen, (September 17th 2015). DOI: 10.5772/60914. Available from:https://www.intechopen.com/books/evolution-of-ionizing-radiation-research/ionizing-radiation-detectors

[10] Wm. David Kulp, Ionizing Radiation Detectors, *In*: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Meyers R.A. (eds), Springer, New York, NY. (2012). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0851-3_34

[11] A. H. Jr. Smith, and M. Lucas. Chapter 3 - Gamma-Ray Detectors, NUREG/CR-5550 Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials, 1991.

[12] C. E. Moss, E. J. Dowdy, and M. C. Lucas. "Bismuth Germanate Scintillators: Applications in Nuclear Safeguards and Health Physics," Nuclear Instruments and Methods A242, 480, 1986.

[13] P. E. Koehler, S. A. Wender, and J, S. Kapustinsky. "Improvements in the Energy Resolution and High-Count-Rate Performance of Bismuth Germinate," Nuclear Instruments and Methods A242, 369 , 1986.

[14] مصطفى محمد عبد المهدي المجالي، الوقاية الاشعاعية ،المبادئ والتطبيقات، تمت زيارته 2020/2/20 www.alfareed-ph.com

[15] محمد عبدالفتاح عبيد، محمد عبدالرحمن آل الشيخ، هندسة الاشعاع النووى، النشر العملى والمطابع جامعة الملك سعود، 2004م.

1 الفصل الثالث

2 تعيين كفاءة كواشف الإشعاع

1- الفصل الثالث

2- تعيين كفاءة كواشف الإشعاع

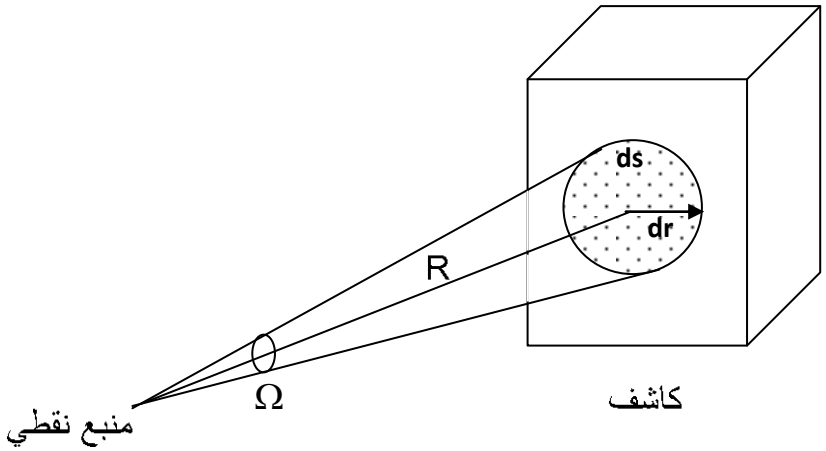
III-1مقدمة

تستعمل كواشف الإشعاع الوميضي في العديد من التطبيقات الصناعية والطبيعية ، هذا النوع من الكواشف يستخدم غالبا لتحليل طيف المواد الإشعاعية وقياس التلوث الإشعاعي وكذا لتحديد وقياس فعالية الم رابع الإشعاعية ضعيفة المستوى. من بين هذه الكواشف نجد كواشف NaI(Tl) التي تتوافر بأحجام مختلفة كما تمتاز بفعالية عالية للكشف وتشتغل عند درجة حرارة الغرفة. يمكن تحديد كفاءة الكاشف تجريبيا باستعمال طاقة وحيدة كمصدر إشعاع غاما قياسي، إلا أنه من الصعب تحديد كفاءة الكاشف من أجل كل طاقات أشعة غاما تجريبيا، لأنه يوجد عدد محدود فقط من باعثات أشعة غاما وحيدة الطاقة ، لذا نلج أ لاستعمال المعادلات التحليلية والخوارزميات الحاسوبية.

في هذا الفصل سنقوم بعرض طرق حساب كفاءة كاشف NaI(Tl) أسطواني الشكل معتمدين على مصدر نقطي للاشعاعات غاما موجود على محور هذا الكاشف الأسطواني [1].

III-2 المبدأ الهندسي للكشف عن الإشعاع

نعتبر كاشفًا يُرى وجهه المُقابل لمصدر إشعاع نقطي بالزاوية الصلبة Ω كما هو موضح في الشكل(III-1).



الشكل (III−1): هندسة الكاشف.

إذا كان هذا المنبع النقطي يقوم بإصدار N_0 جسيم في الثانية، فإنّ عدد الجسيمات التي تنفذ إلى الكاشف في وحدة الزمن يُعطى بالعلاقة[2]:

$$N = N_0.\frac{\Omega}{4\pi} \approx N_0.\frac{\mathrm{ds}}{S} \qquad \textbf{(1−III)}$$

حيث:

Ω: الزاوية الصلبة

S: مساحة الكرة ذات نصف القطر R: $4\pi R^2$

R: البعد منبع − كاشف

ds: المساحة الفعّالة

المُعامل 4π في المقام يأخذ بعين الاعتبار أنّ المنبع النقطي يُشعّ في كلّ الفضاء.

لدينا إذن:

$$N \approx N_0.\frac{(\mathrm{dr})^2}{4R^2} = G.N_0 \qquad \textbf{(2−III)}$$

حيث G هو المُعامل الهندسي، ويعطي بالعلاقة:

$$G = \frac{(\mathrm{dr})^2}{4R^2} \qquad \textbf{(3−III)}$$

كما يُمكن أن نجد الزاوية الصلبة:

$$\Omega = 4\pi.\frac{N}{N_0} = 4\pi.G = \pi.\frac{(\mathrm{dr})^2}{R^2} \qquad \textbf{(4-III)}$$

III-3 كفاءة الكاشف [4,3]

غالبًا ما تُستخدم كفاءات الكاشف لمقارنة وتقييم أنواع مختلفة من الكواشف وهندسة الكشف، وتعتمد كفاءة الكشف على وسائط مختلفة، وبالتالي يتم استخدام عدة تعريفات للكفاءة من أجل تغطية جميع هذه الوسائط :

- **الكفاءة المطلقة:** تُعرَّف بأنها الاحتمالية بأن تتفاعل أشعة غاما الساقطة مع الكاشف عبر واحدة على الأقل من الآليات السائدة لامتصاص طاقة أشعة غاما، وهي التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون وإنتاج الأزواج. ويتم تعريفها على أنها نسبة عدد الإحصاءات المسجلة بواسطة الكاشف إلى عدد أشعة غاما المنبعثة من المصدر (في جميع الاتجاهات).
- **الكفاءة الذاتية:** هي نسبة عدد النبضات المسجلة بواسطة الكاشف إلى عدد أشعة غاما التي تضرب الكاشف.

يجب معرفة الكفاءة المطلقة للكاشف خاصة في قياس النشاط الإشعاعي، ويتم تعريفها على أنه نسبة عدد الإحصاءات المسجلة بواسطة الكاشف (N_c) إلى عدد الإشعاعات (N_s) المنبعثة من المصدر (في جميع الاتجاهات) كما هو معطى بالصيغة التالية:

$$1.2 \quad \epsilon = \frac{N_c}{N_s} \qquad \textbf{(5-III)}$$

لا تعتمد الكفاءة المطلقة للكاشف على خصائص الكاشف فحسب، بل تعتمد أيضًا على تفاصيل هندسة الكشف.

III-4 مردود الكاشف

كل قياس بواسطة الكاشف ليس قياسا مُطلقا، يجب إذن مُعايرة (calibrage) الكاشف المُزوّد بمجسّ (حسّاس، مُستشعر) مُعطى، مع منبع إشعاعي معروف [4]:

$$\mathcal{R} = \frac{\text{عدد الإشعاعات المكتشفة بواسطة الكاشف}}{\text{عدد التهافتات لوحدة الزمن}} \quad (6-III) \quad 1.3$$

المردود يتعلّق بالبعد بين المصدر والكاشف، وبمساحة المنبع، وبالحامل الموجود عليه.

III-5 الكفاءة الذاتية لكاشف

تعد كفاءة الكشف من أهم العوامل في حساب نشاط غاما للمصادر المشعة ، حيث تمُكّننا من معرفة مدى فعالية الكشف عن الفوتونات من خلال حساب الجزء الممتص داخل البلورة واعتمادا على العلاقة الأسية التناقصية من الشكل :

$$I = I_0 e^{-Mx} \quad (7-III) \quad 1.4$$

حيث M : معامل الامتصاص ويعتمد بشدة على طاقة الفوتون؛ x : سمك البلورة.

إن ما يمتص داخل البلورة هو الفرق بين شدة الأشعة الساقطة I_0 وشدة الأشعة النافذة I، والنسبة بين هذا الفرق وشدة الأشعة الساقطة يعرف بالكفاءة الذاتية [5] :

$$\epsilon_{int} = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - e^{-Mx} \quad (8-III) \quad 1.5$$

III-6 طرق تعيين كفاءة الكاشف

هناك عدة طرق لحساب كفاءة الكاشف، أهمها الطريقة التحليلية الرياضية وطريقة مونتي كارلو.

III-6-1 الطريقة التحليلية

لحساب كفاءة الكشف لكاشف ما نقوم أولا بحساب الكفاءة الهندسية للكاشف من أجل مواضع مختلفة لمصدر نقطي على محور الكاشف الاسطواني ذي نصف القطر R [1].

تعطى الكفاءة الهندسية عموما وفق العلاقة التالية:

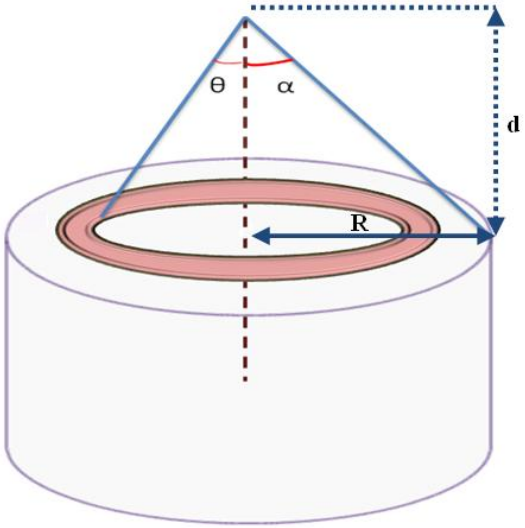
$$\epsilon_{geo} = \frac{\Omega}{4\pi} \qquad (9-III)$$

حيث Ω هي الزاوية الصلبة للمصدر النقطي.

III-6-1-1 الخلفية الرياضية لحساب الزاوية الصلبة

يعد حساب الزاوية الصلبة الهندسية التي يقدمها مصدر إشعاع غاما بشكل معين للكاشف مهمة صعبة للغاية. بالنسبة لمصدر نقطي يقع على محور دوران الكاشف تكون المشكلة مبسطة (انظر الشكل (III-2)) ويعود ذلك لدرجة التناظر العالية ، حيث يقلل الحل إلى تكامل واحد يتعلق بمتغير واحد [7]، أي الزاوية θ. وبالتالي نحصل على:

$$\Omega = \int_0^{\alpha} 2\pi s$$



الشكل (III-2): الزاوية الصلبة.

ومنه نستطيع كتابة ما يلي:

$$\varepsilon_{geo} = \frac{2\,\pi\,(1-cos)}{4\pi} \qquad (11-III)$$

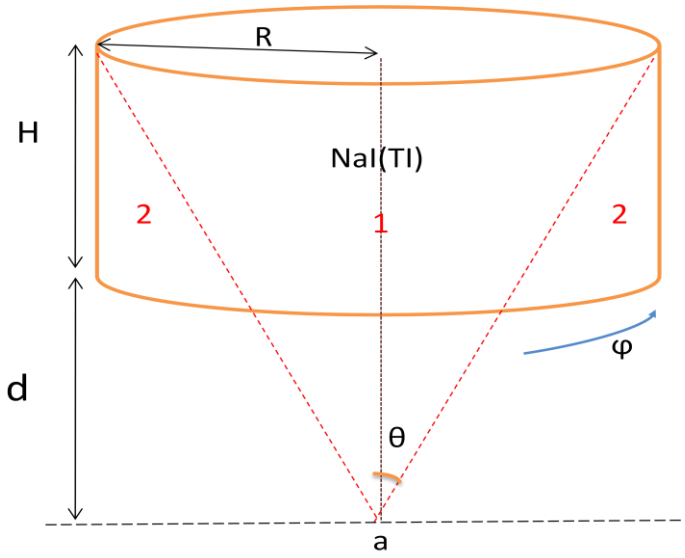
لدينا: $\tan\alpha = R/d$ ومنه: $\alpha = \tan^{-1}(R/d)$

بتعويض قيمة α في المعادلة $(11-III)$ يصبح لدينا الشكل النهائي للمعادلة :

$$\epsilon_{geo} = \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{2}(1-\cos(\tan^{-1}(R/d)) \qquad (\mathbf{12}-III)$$

2 III-6-1-2 الكفاءة الذاتية للكاشف:

من أجل حساب كفاءة الكاشف هناك حاجة ماسة لحساب الكفاءة الذاتية (الجوهرية). لحساب الكفاءة الذاتية في حالة مصدر نقطي مثبت بشكل محوري عند النقطة a، يتم تقسيم داخل البلورة إلى قسمين[1](الجزء 1والجزء2).كما هو مبين في الشكل (III-3):



الشكل (3-III): رسم تخطيطي يوضح طريقة حساب الكفاءة الذاتية للكاشف.

يعرف احتمال التفاعل لفوتون واحد يصطدم بالكاشف وفق المعادلة التالية:

$$P_{interact} = 1 - e^{-(\mu_{NaI})r} \qquad (13 - III)$$

حيث:

μ_{NaI}: معامل التوهين الكتلي للفوتون الخاص بمادة NaI(Tl)

r: المسار المباشر للفوتون.

$$\varepsilon_{int} = \int_0^{2\pi}\int_{\theta 1}^{\theta' 1}\int_{r1}^{r'1} P_{interact}\ (r)r^2\ \sin\theta dr\, d\theta d\varphi + \int_0^{2\pi}\int_{\theta 2}^{\theta' 2}\int_{r2}^{r'2} P_{interact}\ (r)r^2\ \sin\theta dr\, d\theta d\varphi \quad (14 - III)$$

حيث المؤشران 1و2 استنادا للجزئين 1 و2 على التوالي .

- حدود التكامل للجزء 1:

$$\theta_1 \le \theta \le \theta_1' \qquad \theta_1 = 0 \qquad \theta_1' = (\tan^{-1}(R/(d+H)))$$

$$r_1 \le r \le r_1' \qquad r_1 = d/\cos\theta \qquad r_1' = (d+H)/\cos\theta$$

- حدود التكامل للجزء 2:

$$\theta_2 \le \theta \le \theta_2' \qquad \theta_2 = (\tan^{-1}(R/(d+H))) \qquad \theta_2' = (\tan^{-1}(R/d))$$

$$r_2 \le r \le r_2' \qquad r_2 = d/\cos\theta \qquad r_2' = (d+H)/\cos\theta$$

لحساب الكفاءة الكلية للكاشف نقوم بعملية ضرب بين قيمتي الفعالية الذاتية والهندسية :

$$\varepsilon = \varepsilon_{int} \times \varepsilon_{geo} \qquad \textbf{(15-III)}$$

III-6-2 طريقة مونتي كارلو

طرق مونتي كارلو هي تقنيات إحصائية تعتمد على سحب أعداد عشوائية وفقًا لقوانين الاحتمالات أوكثافة الاحتمال التي تصف الظواهر الفيزيائية المعنية، وتسمح بمحاكاة عشوائيتها. في الأربعينيات من القرن الماضي، عمد نيكولا سمتروبوليس Nicholas Metropolisوستانيسلو أولام StanislawUlam إلى استخدام أساليب أخذ العينات هذه، والتي أطلق عليها اسم "مونتي كارلو" في إشارة إلى إمارة موناكو المشهورة بألعاب القمار والحظ . تجعل طرق مونتي كارلو من الممكن حل المشكلات المعقدة التي تكون الأساليب التحليلية أو العددية غير كافية لحلّها.

تستخدم هذه الأساليب اليوم في عدة مجالات، لاسيما في الفيزياء النووية ودون الذرية، وفي القرارات المالية باستخدام منهج إحصائي للمخاطر،وفي الفيزياء الطبية، إلخ...

يمكن استخدام مونتي كارلو لتكرار عملية إحصائية نظريًا (مثل تفاعل بين جسيمات النووية مع المواد) وهي مفيدة بشكل خاص للمشاكل المعقدة التي لا يمكن نمذجتها بواسطة رموز الحاسوب التي تستخدم الطرق الحتمية . تتم محاكاة الأحداث الاحتمالية الفردية التي تتضمن عملية ما بشكل متسلسل. يتم أخذ عينات إحصائية من توزيعات الاحتمال التي تحكم هذه الأحداث لوصف الظاهرة الإجمالية.

تم تطوير العديد من أكواد مونتي كارلو مثل MCNP و MCNPX و GEANT4 وTRIPOLI و(PENELOPE (PENetration and EnergyLOss of Positrons and Electrons إلخ... تتم كتابة معظم هذه الرموز بلغة برمجة FORTRAN، باستثناء GEANT4 المكتوب بلغة C++.

III-6-2-1 المحاكاة العددية باستخدام طريقة مونتي كارلو:

إن الفكرة الأساسية لهذه الطريقة هي الوضع العشوائي للجسيمات ، ومرورتها متأتية من كونها لا تحتوي على معادلات تفاضلية مطلوب حلها [8]. تعتمد طريقة Monte Carlo بصورة أساسية على الأعداد العشوائية، ولكي يكون الوصول إليها قيد الاستخدام، نحتاج إلى مصدر عشوائي لهذه الأعداد: مولد الأعداد العشوائي.

مولد الأعداد العشوائية هو خوارزمية قادرة على إنتاج سلسلة من الأعداد تتميز بخواص عشوائية، وهناك العديد من آليات التوليد للأعداد العشوائية، إن هذه الأعداد المولدة بواسطة خوارزمية في حقيقة الأمر ليست عشوائية، لذلك تصنف على أنها "شبه عشوائية"،ولأنها تستعمل كنسب احتمالية فقيمها تكون في المجال [0,1].

III-6-2-2 تطبيق طريقة مونتي كارلو لحساب كفاءة الكاشف:

نريد حساب الكفاءة الكلية لكاشفات (NaI(Tl من خلال النظر في نسبة الفوتونات الموهنة إلى الفوتونات الكلّية التي يستقبلها الكاشف ، في هذه الطريقة يتم تحديد اتجاهات الفوتونات المنبعثة من المصدر عشوائيا،كما يتم تحديد اطوال مسار الفوتون داخل الكاشف عن طريق المعادلات التحليلية بناء على الاتجاهات التي يتم الحصول عليها من طريقة مونتي كارلو [10,9].

تتميز هذه الطريقة بسرعة الحساب ومرونة وضع العديد من المتغيرات المتعلقة بالكاشف مثل المسافة بين الكاشف والمصدر ، حجم المصدر ونصف قطر الكاشف وما إلى ذلك كمتغيرات إدخال في خوارزمية الكومبيوتر[9].

يتم أيضا إهمال تفاعلات الفوتون داخل المصدر لأننا نعتبر المصدر نقط يا،وأخيرا نفترض أن تشتت الفوتون من الواقي والمواد الأخرى المحيطة بالكاشف لا يكاد يذكر (مهملا).

إذا كان التوهين لفوتون طاقته E عابرا خلال مسارا قدره Δ داخل الكاشف ، فان عبارة التوهين S(E)تعطى بالعبارة :

$$S(E) = 1 - e^{-(\mu_E)\Delta} \qquad (16\text{-III})$$

حيث : μ_E هو معامل التوهين لكاشف NaI من أجل فوتونات طاقتها E و نتحصل عليه باستعمال برنامج Xcom.

في المحاكاة نعرف التوهين الإجمالي لجميع الفوتونات المارة داخل الكاشف في حالة N فوتون متولدة بزاوية صلبة 2π بـ $\sum \mathbf{S(E)}$.

في الحقيقة المصادر تصدر الفوتونات في جميع الاتجاهات بزاوية صلبة 4π ، وبالتالي يتم حساب الفعالية الكلية للكاشف لمصدر نقطي كما يلي:

$$S(E) = \frac{\sum S(E)}{2N} \qquad (17-III)$$

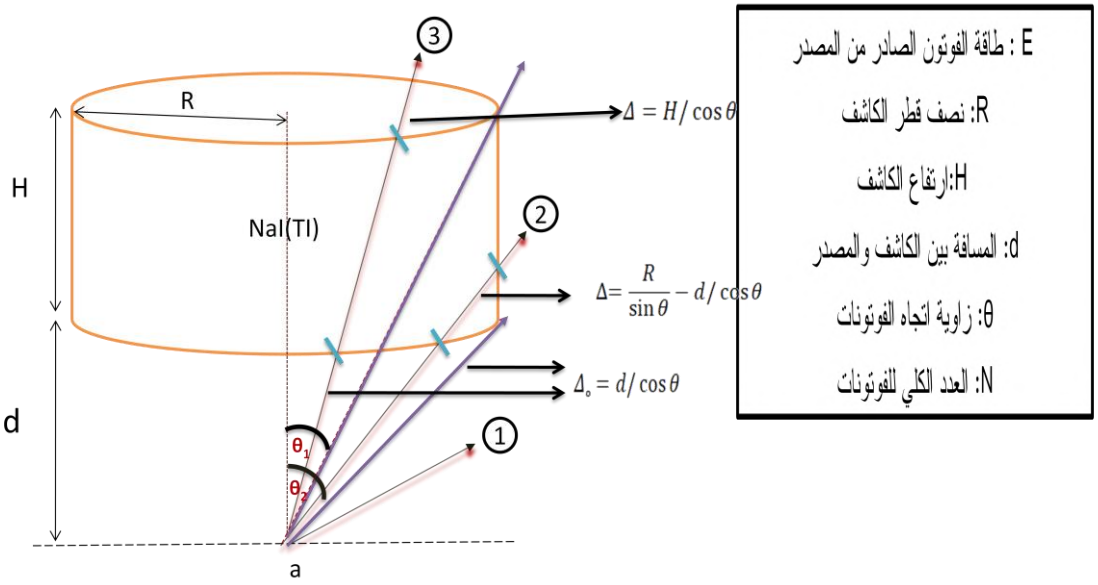
نعرف الزاوية θ زاوية اتجاه الفوتون المنبعث من المصدر بالطاقة E، هذه الزاوية تكون متعلقة بالأبعاد الهندسية للكاشف و ببُعد المصدر ، من الشكل(III–4) نلاحظ أنّ $0 \leq \theta \leq \pi/2$ ، ومنه فإنّ:

$$0 \leq \cos\theta \leq 1 \qquad (16-III)$$

لهذا السبب نستطيع كتابة :

$$\cos\theta = z \qquad (17-III)$$

حيث z: العدد العشوائي المتغير بين 0 و1.



الشكل(III - 4) : رسم تخطيطي لمصدر نقطي مثبت بشكل محوري مع كاشف اسطواني [6].

1) إذا كان $\cos\theta \leq \cos\theta_2$ أي $\theta \geq \theta_2$: فإن الفوتون لا يستطيع الدخول إلى الكاشف.

تعطى: $\theta_2 = \tan^{-1}(R/d)$

2) إذا كان: $\cos\theta_1 > \cos\theta > \cos\theta_2$ أي $\theta_1 < \theta < \theta_2$ فان الفوتون يستطيع الدخول إلى الكاشف و يقطع مسافة Δ:

$$\Delta = (R/\sin\theta) - (d/\cos\theta) \qquad (17\text{-III})$$

3) اذا كان: $\cos\theta \geq \cos\theta_1$ ، أي $\theta \leq \theta_1$:

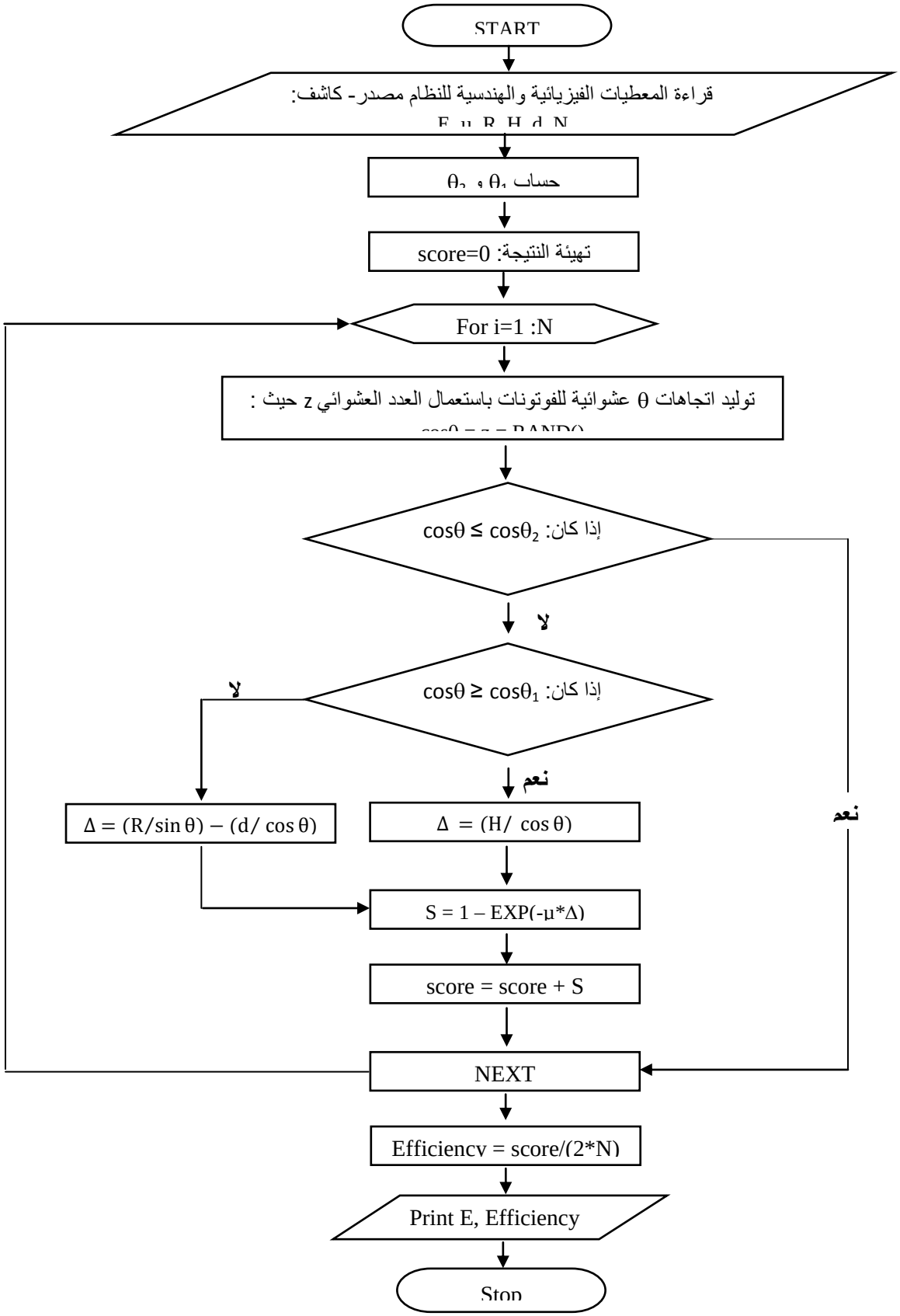
في هذه الحالة الفوتون يستطيع الدخول إلى الكاشف و يقطع مسافة Δ تكون متعلقة ب $\cos\theta$:

$$\Delta = (H/\cos\theta) \qquad (18\text{-III})$$

حيث:

$$\theta_1 = (tan^{-1}(R/(d+H))) \qquad (19\text{-III})$$

خطوات تطبيق طريقة مونتي كارلو لحساب كفاءة الكاشف (NaI(Tl مُعطاة في المخطط الإنسيابي الموضح في الشكل (III - 5).



الشكل (III - 5): مخطط انسيابي يُوضح خطوات تطبيق طريقة مونتي كارلو لحساب كفاءة الكاشف (NaI(Tl من أجل منبع نقطي

مراجع الفصل الثالث

[1] S. Ahmadi,1 S. Ashrafi and F. Yazdansetad, A method to calculate the gamma ray detection efficiency of a cylindrical NaI (Tl) crystal, Jinst, 2018.

[2] André Aurengo, Thierry Petitclerc, Aurélie Kas, Biophysique, 4e édition, Lavoisier, Paris, 2013.

[3] Michael F. L'Annunziata, Solid Scintillation Analysis, *in:* Handbook of Radioactivity Analysis (Second Edition), Editor(s): Michael F. L'Annunziata, Academic Press, 2003, Pages 845-987, ISBN 9780124366039, https://doi.org/10.1016/B978-012436603-9/50016-8.
(http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124366039500168)

[4] I. Akkurt, K. Gunoglu, S. S. Arda, Detection Efficiency of NaI(Tl) Detector in 511–1332 keV Energy Range, *Science and Technology of Nuclear Installations*, vol. 2014, Article
ID 186798, 5 pages, 2014. https://doi.org/10.1155/2014/186798

[5] سعد هادي حسني، مسري عبد الحسن, طالب مصطفى كاظم، الكشف عن أشعة كاما باستخدام كاشف يوديد الصوديوم المطعّم بالثاليوم ، بحث مقدم إلى مجلس كلية التربية /قسم الفيزياء كجزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس في علوم الفيزياء، جامعة القادسية، 2018 م.

[6]S .Yalcin, O.Gurler, G.Kanyar, O.Gundogdu, Calculation of total counting efficiency of a NaI(Tl) detector by hybrid Monte carlo method for point and disk sources, Applied radiation and isotopes, 65 (2007)1179-1186.

[7] L. Moens, j. De Donder O, Lin Xi-lei ., F. De Corte, A. De Wispelaere ,A. Simonits and J. Hoste, Calculation Of Thabsolute Peak Efficiency Of Gamma-Ray Detectors For Different Counting Geometries, Nuclear Instruments and Methods, 187 (1981) 451-472 451.

[8] شيحي اسماعيل، حساب دوال توزيع الحقل الكهربائي الموضعي ومشتقاته داخل البلازما باستخدام المحاكاة العددية مونتي كارلو: تطبيق على طيف الهيليوم، أطروحة دكتوراه دولة في الفيزياء، جامعة قسنطينة، 2005.

[9] S. Yalcin, O. Gurler, O. Gundogdu, G. Kaynak, Monte Carlo simulation of gamma-ray total counting efficiency for a Phoswich detector, Radiation Measurements 44 (2009) 80–85.

[10] F. O. Ogundare, E. O. Oniya and F. A. Balogun, Dependence of NaI(Tl) detector intrinsic fficiency on source–detector distance, energy and off-axis distance: Their implications for radioactivity measurements, Vol. 70, No. 5 — journal of May 2008 physics pp. 863–874.

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

1.VI مقدمة

سنقوم في هذا الفصل بعرض ومناقشة النتائج المتوصل إليها بواسطة محاكاة مونتي كارلو لكاشف NaI(Tl) أسطواني الشكل ومصدر نقطي مشع.

البرنامج مكتوب بلغة الماتلاب (Matlab) استنادا على المخطط الانسيابي المذكور في الفصل السابق، وسنقوم باختبار نجاح هذا البرنامج وذلك بمقارنة نتائجه بنتائج سابقة ومن ثمّ المرور إلى محاكاة كاشف كيفي الأبعاد من أجل طاقات مصادر إشعاعية متغيرة.

2.VI النتائج والمناقشة

1.2.VI حساب معاملات التوهين الخطّي

لحساب كفاءة الكاشف لابد من إيجاد قيم معاملات التوهين الخطّي (μ_L) للبلورة NaI(Tl)، هذه القيم قد تكون مجدولة سابقا [1]، كما يمكن حسابها باستعمال برامج جاهزة مثل برنامج [2] XCOMالذي استعملناه في هذا العمل.

إن هذا البرنامج يعطي قيم معاملات التوهين الكتلي، وللحصول على معاملات التوهين الخطّي نستعمل المعادلة (5.I) (انظر الفصل الأول) مع المعادلة التالية:

$$\mu_m(NaI) = \sum \mu_i w_i = (\mu_1 w_1)_{Na} + (\mu_2 w_2)_I \quad (1.IV)$$

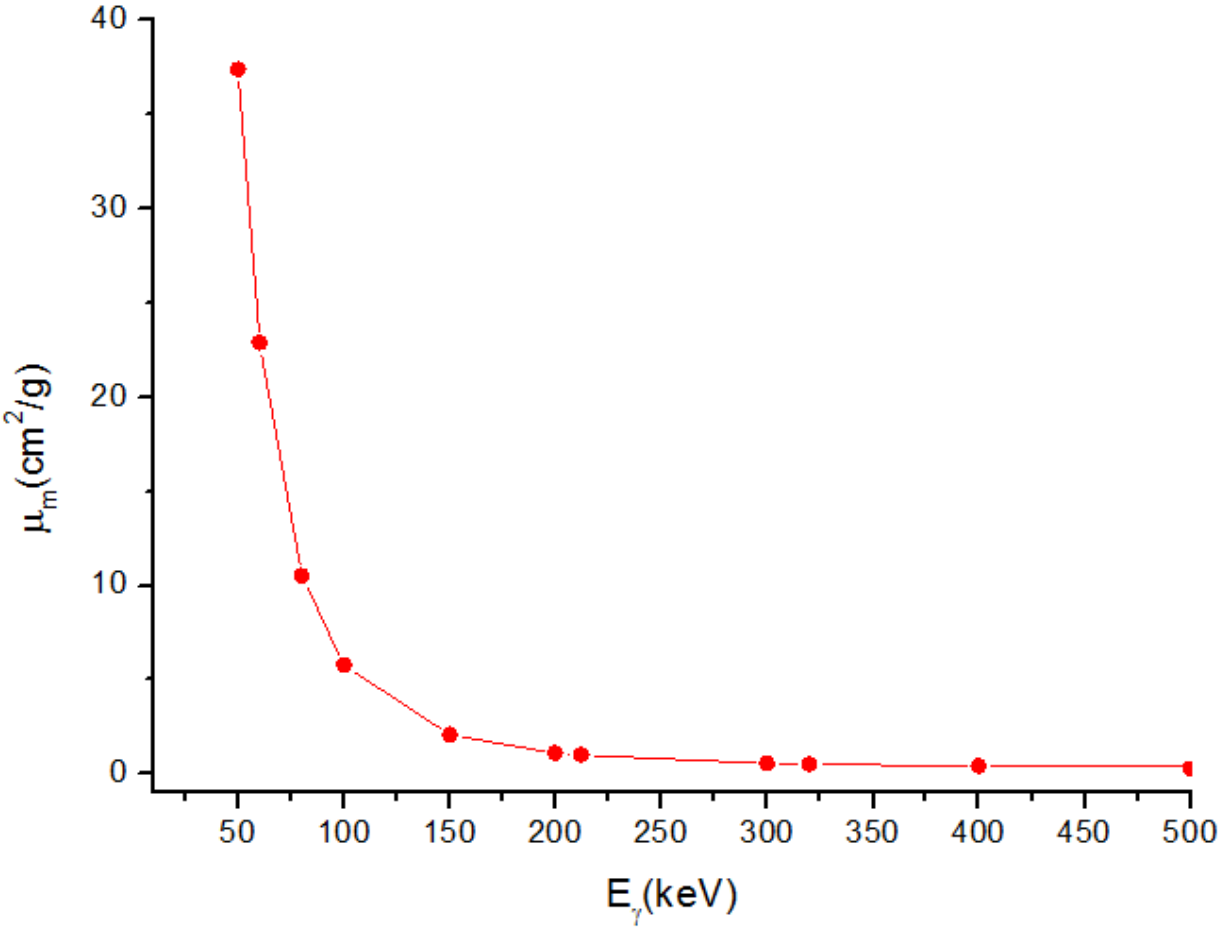
$$\mu_L(NaI) = \mu_m(NaI).\rho \quad (2.IV)$$

حيث :

الكتلة الحجمية لبلورة NaI $\rho_{(NaI)}=3.67 g/cm^3$

$w_1=0.153$ و $w_2 = 0.846$ هي الكسور الكُتلية لـــــ Na و I على الترتيب.

القيم المُتحصّل عليها جُمعت في الجدول (1.IV)، والشكل (1.IV) يوضّح تغيّر معامل التوهين الكتلي لبلورة NaI في المجال [50−500keV] من طاقات إشعاع غاما.



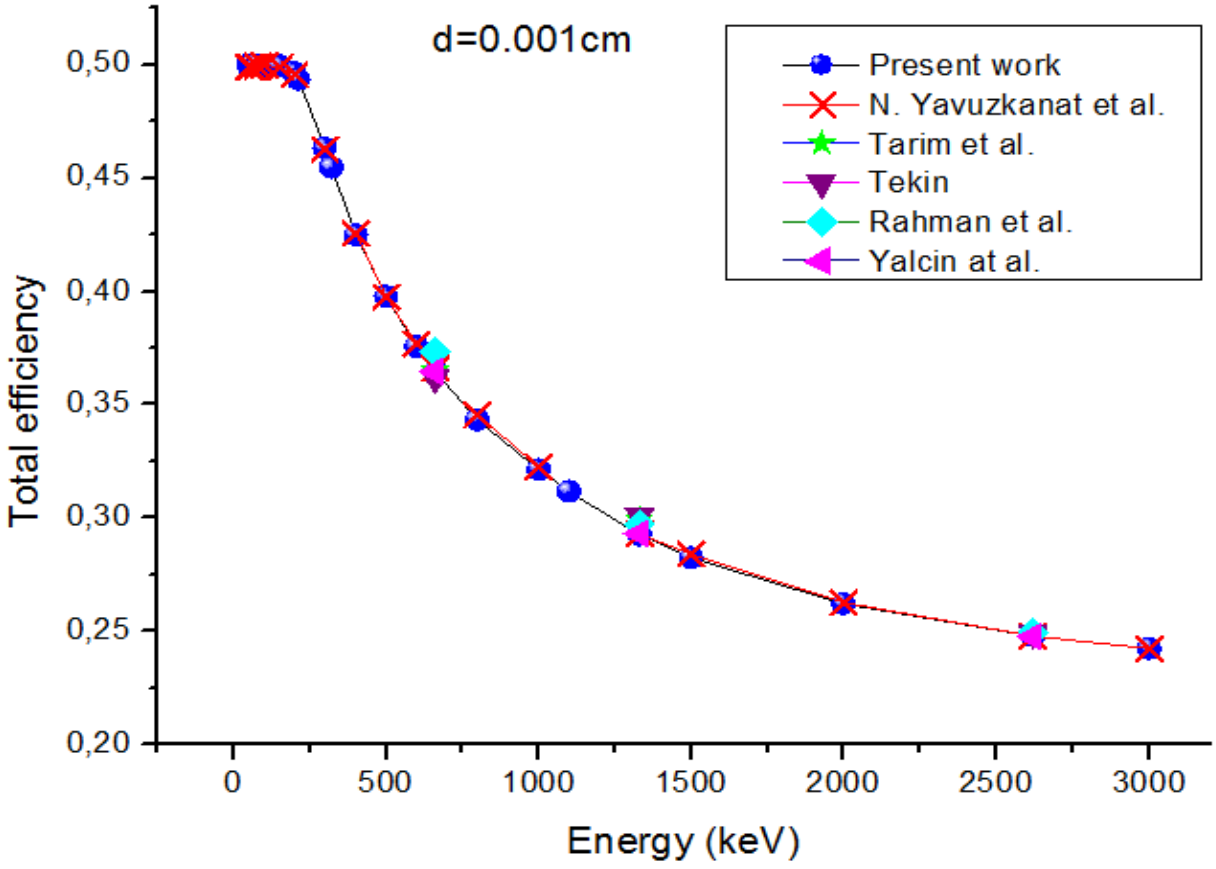
الشكل (1.IV): تغيّر معامل التوهين الكتلي μ_L لبلورة NaI بدلالة طاقة إشعاع غاما في المجال الطاقوي [50−500keV]

الجدول (1.IV): قيم مُعاملات التوهين الكُتلي والخطي لبلورة NaI من أجل طاقات مختلفة لأشعة غاما باستعمال برنامج XCOM

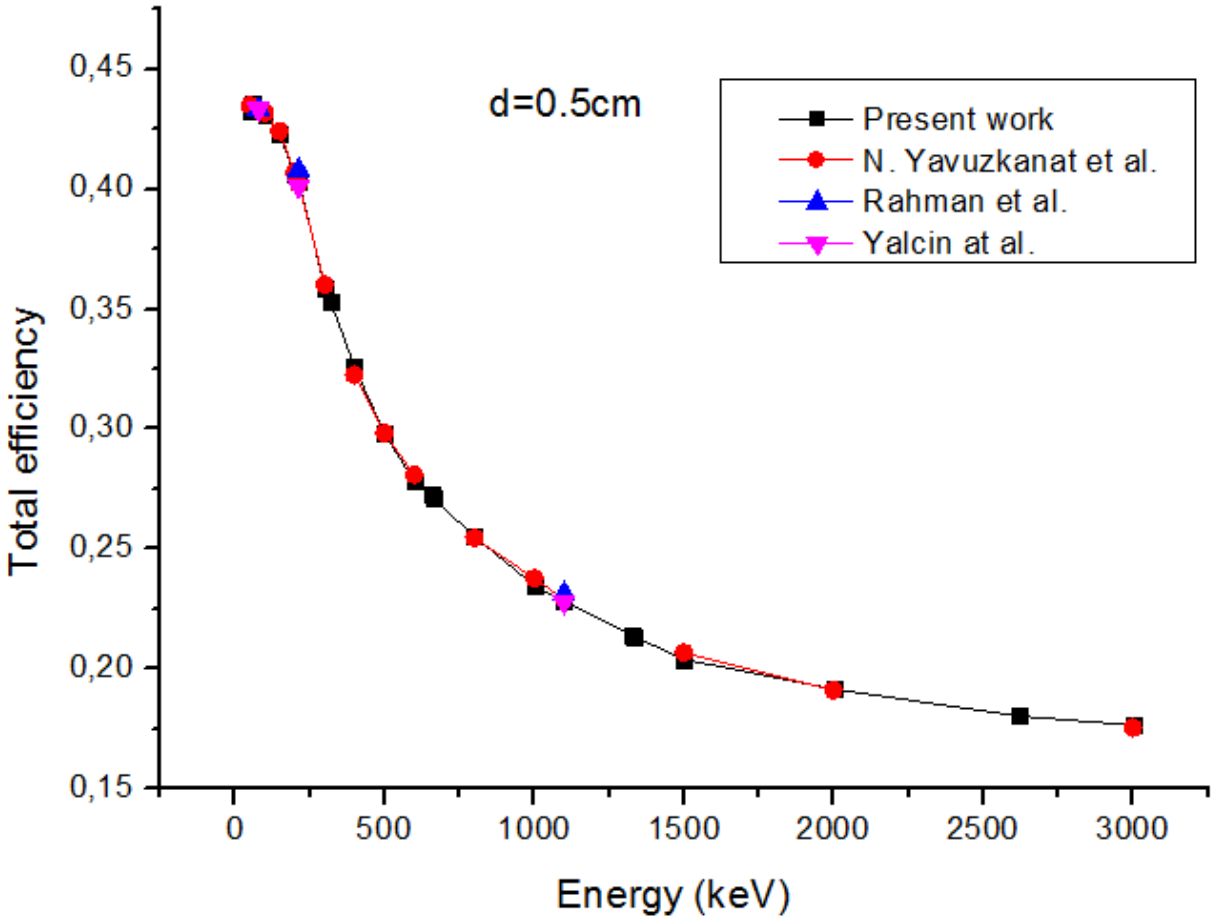
طاقة الإشعاع غاما (keV)	معامل التوهين الكُتلي μ_m (cm^2/g)	مُعامل التوهين الخطي μ_L (cm^{-1})
50	37,361	10,180
60	22,857	6,228
80	10,507	2,863
100	5,784	1,576
150	2,078	0,566
200	1,108	0,302
212	0,989	0,270
300	0,563	0,153
320	0,517	0,141
400	0,404	0,110
600	0,332	0,090
500	0,290	0,079
661	0,272	0,074
662	0,271	0,074
800	0,241	0,066
1000	0,211	0,058
1100	0,200	0,054
1330	0,181	0,049
1332	0,181	0,049
1500	0,170	0,046
2000	0,151	0,041
2620	0,139	0,038
3000	0,135	0,037

VI.2.2اختبار نجاح البرنامج المكتوب

قبل كلّ شيء، ولاختبار مدى نجاح البرنامج المكتوب من أجل التركيب (كاشف– مصدر) المُستخدم في المحاكاة، قمنا بتشغيل البرنامج من أجل كاشف NaI(Tl) أبعاده "3x3" (7.62cmx7.62cm) من أجل ثلاثة قيم للبعد مصدر – كاشف (10cm, 0.5cm, 0.001cm) ومن أجل مجال طاقات غاما يمتد بين 50keV إلى غاية 3000keV، ثم قمنا بمقارنة النتائج المُتحصّل عليها مع نتائج متوفرة في دراسات سابقا. النتائج المُتحصّل عليها معطاة في الجدول (2.IV) مع قيم متوفرة من دراسات سابقة ، كما تمّ تمثيل منحنيات تغير الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع من بُعد مصدر – كاشف مساوٍ 0.001cm, 0.5cm في الأشكال (2.IV) و (3.IV) على الترتيب.



الشكل(2.IV): منحنى تغير الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع من أجل d= 0.001 cm.



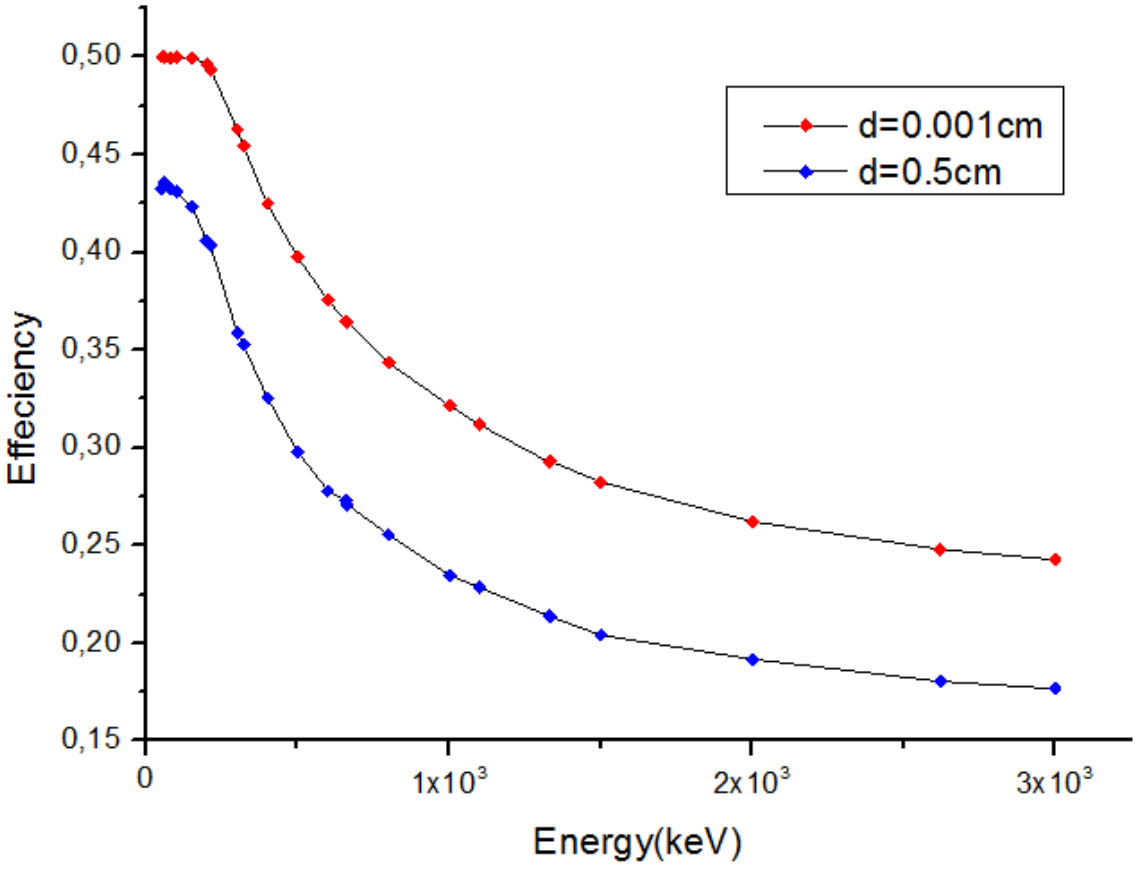
الشكل(3.IV): منحنى تغير الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع من أجل d= 0.5 cm

من الجدول (2.IV)، ومن الأشكال (2.IV) و (3.IV)، نرى بوضوح أن النتائج المتحصّل عليها بواسطة برنامجنا متوافقة إلى حد كبير مع نتائج الدراسات السابقة، مما يسمح لنا باعتبار أن هذا البرنامج عملي ويمكن استعماله في هذا النوع من الحسابات.

الجدول (2.IV): مقارنة قيم الكفاءة الكلية المحسوبة لكاشف NaI(Tl) أبعاده "3x3" (7.62cmx7.62cm) من أجل إشعاعات غاما مُنبعثة من مصدر نقطي يبعد عن الكاشف بمسافاتcm0.001 ,0.5cm ,10cm مع نتائج دراسات سابقة

الكفاءة الكلية للكاشف															الطاقة (keV)
Yalcin at al. (2007) [7]			Rahman et al. (2009) [6]			Tekin (2016) [5]	Tarim et al. (2018)[4]		N. Yavuzkanat et al. (2019) [3]			الدراسة الحالية			
10cm	0.5cm	0.001cm	10cm	0.5cm	0.001cm	0.001cm	10cm	0.001cm	10cm	0.5cm	0.001cm	10cm	0.5cm	0.001cm	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0328	0.4347	0.4990	0,0299	0,4324	0,4999	50,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0325	0.4345	0.4990	0,0316	0,4355	0,4998	60,0
-	0.4333	-	-	0.4330	-	-	-	-	0.0323	0.4335	0.4992	0,0307	0,4323	0,4998	80,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0313	0.4318	0.4995	0,0317	0,4311	0,4999	100,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0303	0.4240	0.4991	0,0290	0,4231	0,4996	150,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0287	0.4068	0.4957	0,0298	0,4060	0,4963	200,0
-	0.4013	-	-	0.4078	-	-	-	-	-	0.4022	-	0,0290	0,4033	0,4936	212,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0254	0.3601	0.4625	0,0254	0,3589	0,4630	300,0
0.0249	-	-	0.0255	-	-	-	-	-	0.0249	-	-	0,0233	0,3529	0,4545	320,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0235	0.3226	0.4257	0,0242	0,3257	0,4248	400,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0222	0.2980	0.3975	0,0228	0,2979	0,3977	600,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0208	0.2808	0.3770	0,0212	0,2781	0,3755	500,0
-	-	0.3646	0.0207	-	0.3737	0.3618	0.0202	0.3652	-	-	0.3660	0,0212	0,2728	0,3644	661,0
0.0202	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0203	-	-	0,0201	0,2709	0,3643	662,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0192	0.2546	0.3453	0,0194	0,2551	0,3433	800,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0177	0.2376	0.3227	0,0185	0,2346	0,3214	1000,0
-	0.2281	-	-	0.2313	-	-	-	-	-	0.2292	-	0,0175	0,2284	0,3117	1100,0
0.0164	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0165	-	-	0,0174	0,2139	0,2926	1330,0
-	-	0.2930	0.0169	-	0.2974	0.3011	0.0168	0.2990	-	-	0.2929	0,0176	0,2135	0,2930	1332,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0160	0.2066	0.2841	0,0158	0,2040	0,2823	1500,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0148	0.1910	0.2628	0,0156	0,1917	0,2621	2000,0
0.0140	-	0.2476	0.0142	-	0.2495	0.2491	-	-	-	-	0.2478	0,0139	0,1803	0,2480	2620,0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0140	0 .1755	0.2424	0,0132	0,1766	0,2425	3000,0

من جهة أخرى، عند إعادتنا لرسم قيم الكفاءة المحسوبة بدلالة الطاقة من أجل قيمتين للبعد مصدر – كاشف، لاحظنا أن الكفاءة تقل بزيادة هذا البعد، وهذا يعني أنه كلما كان المصدر قريبا أكثر من الكاشف كلّما كانت الكفاءة أحسن.



الشكل(4.IV): تغير الكفاءة بدلالة الطاقة من أجل d=0.001cm و d=0.5cm.

3.2.VI دراسة تأثير المسافة مصدر – كاشف على الكفاءة الكلّية للكاشف

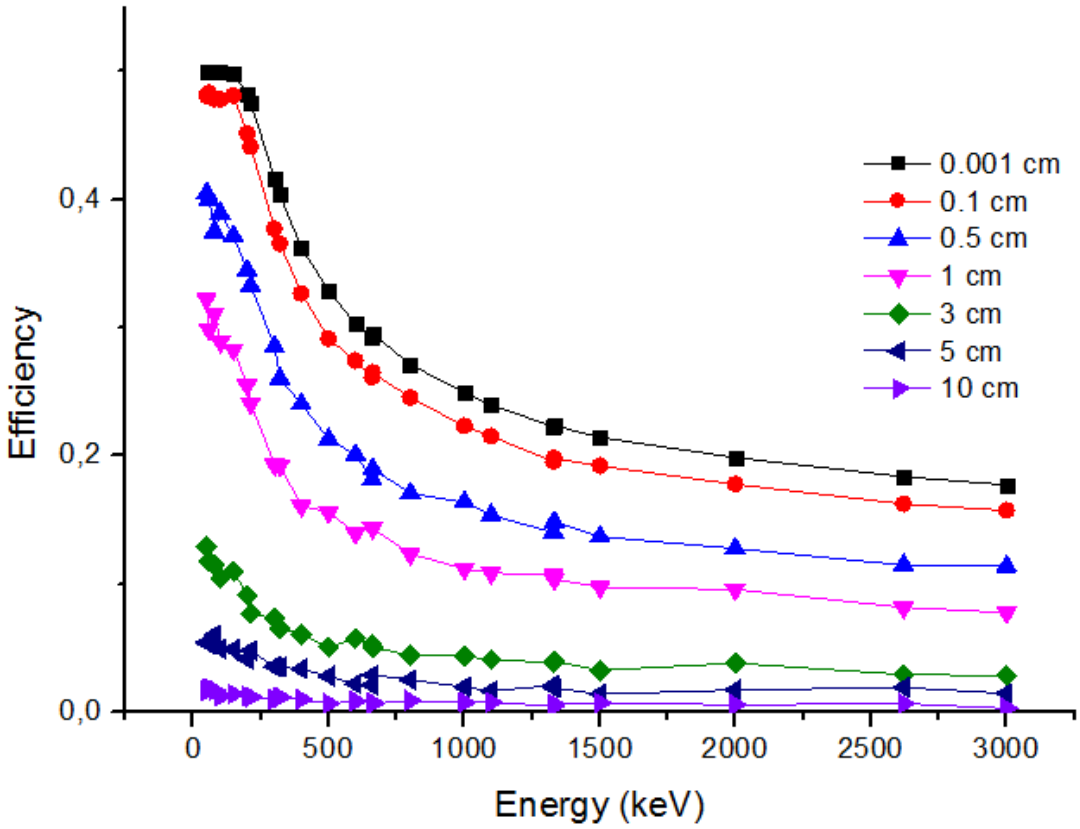
نقوم الآن بإجراء المحاكاة من أجل كاشف أبعاده معطاة ونغيّر موضع المنبع شاقوليا بالنسبة للكاشف لمعرفة كيف يؤثر هذا على الكفاءة الكلّية للكاشف من أجل قيم طاقة إشعاع معطاة.

لنعتبر كاشف NaI(Tl) أسطواني الشكل أبعاده "2x2" (5.08cmx5.08cm) ، ونقوم بتشغيل البرنامج من أجل مجال طاقوي يمتد من 50keV إلى غاية 3000keV، ومن أجل قيم للبعد مصدر – كاشف متغيرة من 0.001cm إلى غاية 10cm (مسافات أصغر ومساوية تقريبا وأكبر من أبعاد الكاشف)،

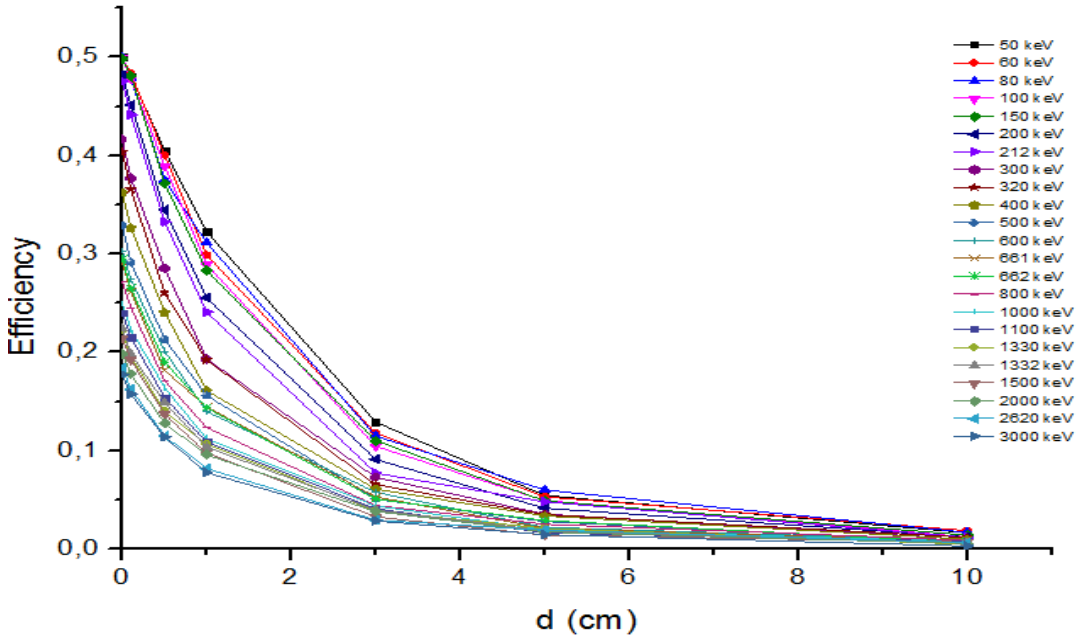
نتائج المحاكاة معروضة في الجدول (3.IV) وممثلة في الشّكلين (5.IV) و (6.IV).

الجدول (3.IV): الكفاءة الكلية المحسوبة لكاشف NaI(Tl) أبعاده "2x2" (5.08cmx5.08cm) من أجل إشعاعات غاما مُنبعثة من مصدر نقطي متوضّع شاقوليا بالنسبة للكاشف

	الطاقة (keV)	البعد d (cm)						
		0,001	0,1	0,5	1	3	5	10
الكفاءة الكلّية	50	0,5000	0,4809	0,4049	0,3226	0,1292	0,0549	0,0169
	100	0,5000	0,4781	0,3893	0,2891	0,1048	0,0496	0,0125
	200	0,4817	0,4514	0,3449	0,2552	0,0911	0,0419	0,0125
	300	0,4164	0,3772	0,2856	0,1933	0,0731	0,0356	0,0102
	400	0,3624	0,3267	0,2405	0,1615	0,0612	0,0336	0,0102
	500	0,3288	0,2912	0,2132	0,1563	0,0510	0,0282	0,0068
	600	0,3030	0,2745	0,2011	0,1399	0,0577	0,0223	0,0086
	800	0,2714	0,2457	0,1711	0,1237	0,0447	0,0256	0,0093
	1000	0,2493	0,2232	0,1641	0,1121	0,0440	0,0200	0,0077
	1332	0,2236	0,1982	0,1488	0,1039	0,0401	0,0191	0,0065
	1500	0,2144	0,1924	0,1372	0,0977	0,0329	0,0143	0,0072
	2000	0,1986	0,1778	0,1278	0,0959	0,0384	0,0174	0,0061
	3000	0,1773	0,1576	0,1139	0,0776	0,0288	0,0150	0,0032



الشكل (5.IV): تغيّر كفاءة كاشف NaI(Tl) أبعاده "2x2" بدلالة الطاقة من أجل عدّة مواضع للمصدر



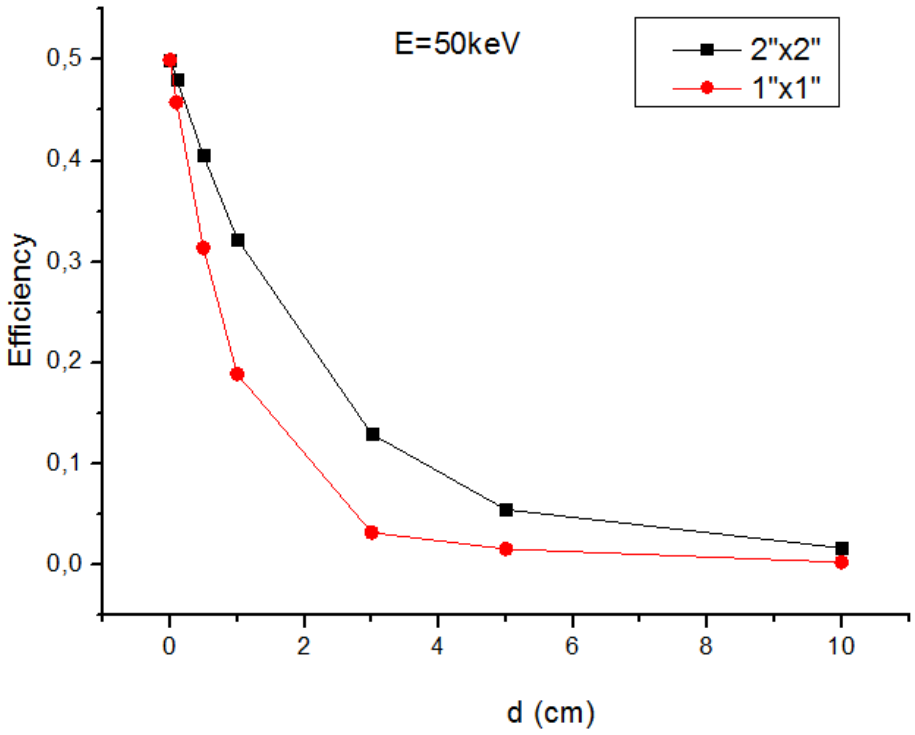
الشكل (6.IV): تغيّر كفاءة كاشف NaI(Tl) أبعاده "2x2" بدلالة البعد مصدر – كاشف من أجل عدّة طاقات لإشعاع غاما

يمكننا الملاحظة من خلال الشكلين أنّ الكفاءة الكُلّية للكاشف تناقص بتزايد البعد.

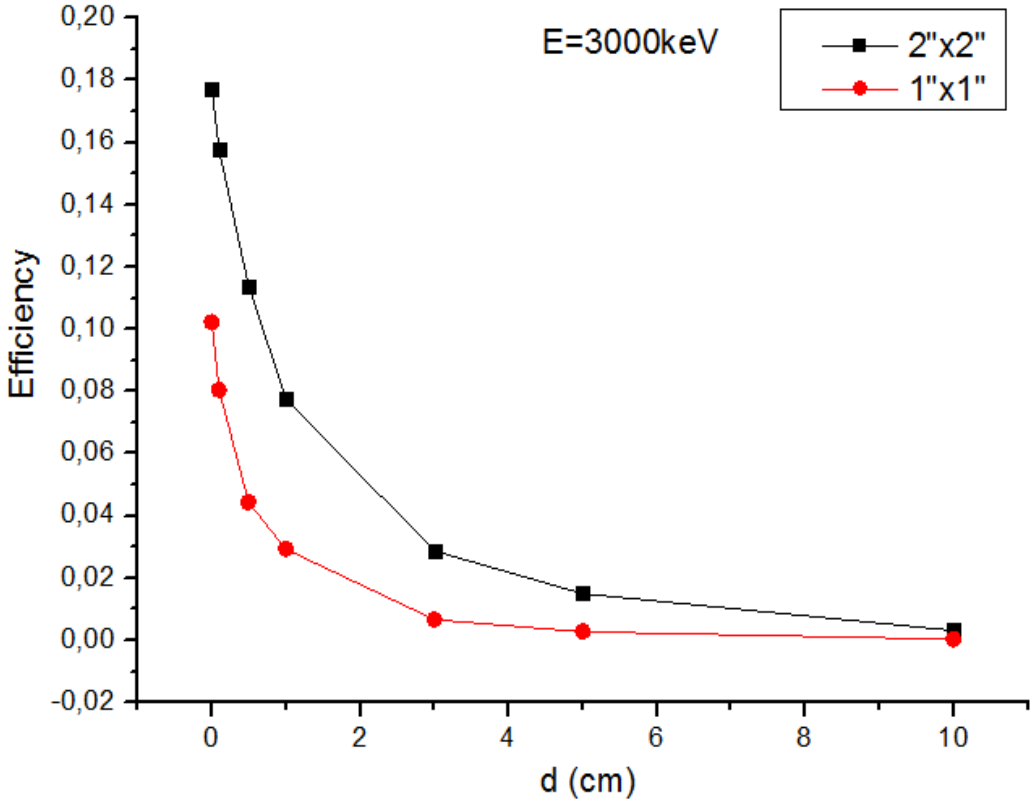
قد تكمن أهمية هذه النتائج في توفير جداول إرشاد وتوجيه للباحثين التجريبيين من أجل تحديد أو اختيار البعد مصدر – كاشف في أعمالهم التجريبية، لأن هذا البرنامج يمكنه إعطاء مختلف القيم للكفاءة من أجل مسافات أصغر ومساوية تقريبا وأكبر من أبعاد الكاشف، ومن أجل أي قيم طاقوية لإشعاع المصدر.

4.2.VI دراسة تأثير أبعاد المصدر على الكفاءة الكلّية للكاشف

قمنا في الجزء السابق بمحاكاة كاشف أبعاده "2x2"، وسنقوم الآن بتغيير هذه الأبعاد، ونشغّل البرنامج من أجل كاشف أبعاده "1x1" (2.54cmx2.54cm) ونرى كيف يؤثر تغير حجم الكاشف على كفاءته الكلية.



الشكل (7.IV): مقارنة بين كفاءة كاشفين مختلفي الأبعاد "2x2 و "1x1 عندالطاقة 50 keV.



الشكل (8.IV): مقارنة بين كفاءة كاشفين مختلفي الأبعاد "2x2" و "1x1" عندالطاقة 3000keV.

انطلاقا من الشكلين (7.IV) و (8.IV) يُمكننا ملاحظة أنّ كفاءة الكاشف الأكبر حجما لها قيم أكبر من قيم كفاءة الكاشف الأصغر، ويمكن تفسير ذلك بكون أن قيم مُعامل التوهين المقابلة للطاقات المنخفضة تكون أعلى من القيم الموافقة للطاقات الأعلى، نتيجة لذلك فإنه يكون هناك انتقال كبير من خلال أجهزة الكشف الرقيقة نسبيا مما يؤدّي إلى قيم أصغر للكفاءات الكُلّية، إذن كلّما كان الكاشف أصغر حجما، كلّما ازدادت كانت احتمالية عبور الفوتونات دون تفاعل.

مراجع الفصل الرابع :

[1] Hubbell, J H, and Seltzer, S M. *Tables of x-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 meV for elements z = 1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest*. United States: N. p., 1995. Web

[2] Berger, M.J., Hubbell, J.H., Seltzer, S.M., Chang, J., Coursey, J.S., Sukumar, R., Zucker, D.S., and Olsen, K. (2010), *XCOM: Photon Cross Section Database* (version 1.5). [Online] Available: http://physics.nist.gov/xcom [2020, October 3]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.

[3] N. Yavuzkanat, D. Güngör, S. Yalçın , The Determination of the Total Efficiency for NaI(Tl) Detector by GATE Simulation, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8 (Özel Sayı), 37-45, 2019

[4] Tarım Akar U., Gürler O., Yalçın S. 2018. A Quick Method to Calculate NaI(Tl) Detector Efficiency Depending on Gamma ray Energy and Source-to-detector Distance. Celal Bayar University Journal of Science, 14 (2): 195-199.

[5] Huseyin Ozan Tekin, "MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3 × 3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data", *Science and Technology of Nuclear Installations*, vol. 2016, Article ID 6547318, 7 pages, 2016. https://doi.org/10.1155/2016/6547318

[6] Rehman, S. U., Mirza, S. M., and Mirza, N. M. (2009). A fast, primary-interaction Monte Carlo methodology for determination of total efficiency of cylindrical scintillation gamma-ray detectors. Nuclear Technology & Radiation Protection, 3, 195-203.

[7] Yalcin S., Gurler O., Kaynak G., Gundogdu O. 2007. Calculation of total counting efficiency of a NaI(Tl) detector by hybrid Monte-Carlo method for point and disc sources. Applied Radiation and Isotopes, 65: 1179-1186.

الحوصلة العامة

الحوصلة العامة

إن الهدف من هذا البحث هو محاكاة كفاءة كاشف وميضي NaI(Tl) من أجل مصدر إشعاع غاما نقطي بطريقة مونتي كارلو من أجل معرفة كيفية تغيّر هذه الكفاءة بدلالة طاقة المصدر المشع وبدلالة البعد مصدر–كاشف.

بداية، في الفصل الأوّل، قمنا بعرض مفاهيم حول الإشعاع عموما، وعلى الخصوص الإشعاع المؤيّن، ثم تطرّقنا إلى بعض ظواهر التفاعل إشعاع–مادة، مثل التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون وغيرهما، بعدها عرضنا بشيء من الاختصار مفهوم التوهين وكذا بعض القوانين المستعملة لوصف هذه الظاهرة، وفي آخر الفصل تطرقنا إلى بعض الآثار البيولوجية للإشعاع وكذا بعض التطبيقات الطبية له.

الفصل الثاني كان مخصّصا لطرق الكشف عن الإشعاع المُؤيّن، حيث أوردنا مختلف أنواع كواشف الإشعاع، وذلك بشرح مبادئ عملها وكذا مختلف تطبيقاتها ومميّزات كلّ منها.

في الفصل الثالث عرضنا مفهوم كفاءة الكاشف، إذ قمنا بتعريف الكفاءة الهندسية والكفاءة الذاتية والكفاءة الكلّية وأوردنا العلاقة بين هذه المقادير الثلاثة، كما أوردنا بعض الطرق لحساب الكفاءة، كالطريقة التحليلية الرياضية وطريقة مونتي كارلو، وتطرقنا إلى مختلف مراحل حساب الكفاءة من أجل كاشف أسطواني الشكل يقع مصدر إشعاعي نقطي على محوره الشاقولي باستخدام محاكاة مونتي كارلو.

في الفصل الرابع، قمنا باختبار البرنامج وذلك بمقارنة نتائجه مع نتائج دراسات سابقة، فكانت متوافقة إلى حد كبير معها، مما يسمح لنا باعتبار أن هذا البرنامج عملي ويمكن استعماله في هذا النوع من الحسابات.

بعد مرحلة الاختبار هذه، قمنا بتشغيل البرنامج من أجل كاشف NaI(Tl) أسطواني الشكل أبعاده 2"x2" (5.08cmx5.08cm) مجال طاقوي يمتد من 50keV إلى غاية 3000keV، ومن أجل قيم للبعد مصدر – كاشف أصغر ومساوية تقريبا وأكبر من أبعاد الكاشف (من 0.001cm إلى غاية 10cm)، ووجدنا أنّ الكفاءة الكُلّية للكاشف تناقص بتزايد البعد.

لمعرفة كيف يؤثر تغير حجم الكاشف على كفاءته الكلية، قمنا بتشغيل البرنامج من أجل كاشف أبعاده 1"x1" (2.54cmx2.54cm) ، أظهرت النتائج المُتحصّل عليها أنّ كفاءة الكاشف الأكبر حجما لها قيم أكبر من قيم كفاءة الكاشف الأصغر من أجل طاقة محدّدة، ويمكن تفسير ذلك بكون أن قيم مُعامل التوهين المقابلة للطاقات المنخفضة تكون أعلى من القيم الموافقة للطاقات الأعلى، نتيجة لذلك فإنه يكون هناك انتقال كبير عبر أجهزة الكشف الرقيقة نسبيا مما يؤدّي إلى قيم أصغر للكفاءات الكُلّية، إذن كلّما كان الكاشف أصغر حجما، كلّما ازدادت احتمالية عبور الفوتونات دون تفاعل، وبالتالي تقلّ احتمالية الكشف عنه.

وكحوصلة عامة لهذا العمل، فإن البرنامج الذي تم إنجازه يُمكنه توفير بيانات على شكل جداول إرشاد وتوجيه للباحثين التجريبيين من أجل تحديد أو اختيار البعد مصدر – كاشف والطاقة في أعمالهم التجريبية، لأن هذا البرنامج يمكنه إعطاء مختلف القيم للكفاءة من أجل مسافات أصغر ومساوية تقريبا وأكبر من أبعاد الكاشف ومن أجل أي قيم طاقوية لإشعاع المصدر، كما نسعى مستقبلا أن نُطوّر هذا البرنامج، وذلك بإضافة الحالات الخاصة بمصادر الإشعاع السطحية (قرص مثلا) والحجمية (أسطوانة مثلا) والتي تستدعي معالجة هندسية وحاسوبية أشمل وأعمّ.

الملخّص

الهدف من هذا البحث هو حساب كفاءة كاشف وميضي NaI(Tl) من أجل مصدر إشعاع نقطي بطريقة مونتي كارلو، من أجل ذلك قمنا بإنجاز برنامج مكتوب بلغة الماتلاب Matlab . اختبار البرنامج تمّ بنجاح لدى مقارنته مع نتائج سابقة، كما بيّنت المحاكاة باستعمال هذا البرنامج أنّ الكواشف الأكبر حجما لها كفاءة أعلى من الكواشف الأقل حجما. يُمكّن هذا البحث من توفير بيانات على شكل جداول إرشاد وتوجيه للباحثين التجريبيين من أجل تحديد أو اختيار البعد مصدر – كاشف والطاقة في أعمالهم التجريبية، لأن هذا البرنامج يمكنه إعطاء مختلف القيم للكفاءة من أجل مسافات أصغر ومساوية تقريبا وأكبر من أبعاد الكاشف ومن أجل أي قيم طاقوية لإشعاع المصدر.

الكلمات المفتاحية: كاشف وميضي؛ بلورة NaI(Tl)؛ التوهين؛ كفاءة الكاشف؛ محاكاة مونتي كارلو

Abstract :

The aim of this work is to calculate the efficiency of a NaI(Tl) scintillation detector for a point source of radiation using a Monte Carlo method. For that, we have written a program in Matlab language. The program was tested successfully when compared with previous results in literature. Simulations using this program also showed that larger detectors have higher efficiency than smaller detectors. This research enables to provide data guidance tables for experimental researchers in order to determine or choose the source-detector dimension and energy in their experimental work, because this program can give various values of efficiency for smaller, nearly equal and larger distances than the detector dimensions, and for any energy values of the source radiation.

Keywords: *Scintillation detector; NaI(Tl) crystal; attenuation, gamma rayes; detector efficiency; Monte Carlo simulation.*