وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية
كلية التربية
قسم الفيزياء

دراسة بعض العوامل المؤثرة في حساب عامل تراكم أشعة غاما في مادتي الألمنيوم والرّصاص

بحث مقدم إلى قسم الفيزياء- كلية التربية

كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في الفيزياء من قِبل الطّلاب

سمر رعد رسام
صبا محسن حتاتة
صادق جابر غدير

بإشراف/ م.م كوثر حسن عبيس

٢٠١٨م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{وَجَاءُوا عَلَىٰ قَمِيصِهِ بِدَمٍ كَذِبٍ ۚ قَالَ بَلْ سَوَّلَتْ لَكُمْ أَنفُسُكُمْ أَمْرًا ۖ
فَصَبْرٌ جَمِيلٌ ۖ وَاللَّهُ الْمُسْتَعَانُ عَلَىٰ مَا تَصِفُونَ}

صدق الله العظيم

آية ١٨ - سورة يوسف

الإهداء

إلى أمهاتنا ..... كل الحب والامتنان

لأن الكلمات تقف عاجزة أمام تضحياتكن.

شكر وتقدير

كل الشّكر والامتنان للأستاذة المشرفة المحترمة (كوثر حسن عبيس) على ما قدمته لنا من جهود وتسهيلات لإتمام هذا البحث.

كل الشّكر والتّقدير لأساتذة قسم الفيزياء المحترمين وعلى رأسهم الدكتور سليم عزارة "رئيس قسم الفيزياء" والدكتور أنيس علي "مقرر القسم" ود.مرتضى شاكر المحترم والاستاذ مشتاق الهلالي .

الخلاصة

تم في هذا البحث قياس عامل تراكم أشعة غاما (Buildup Factor) في مادتي الرّصاص والألمنيوم باستخدام كاشف عداد كايكر والمصدرين المشعين (السيزيوم -137) و(الكوبالت- 60) ولمسافة (60mm). حيث تم دراسة تأثير تغيّر العدد الذّريّ وسمك مادة الدرع بوحدات (mm) و (mfp) على قيم عامل التراكم. كما تم دراسة تأثير تغيّر المسافة بين مصدر (الكوبالت- 60) المشع والكاشف على قيم عامل التراكم لسمك ثابت (10mm) لدرع من مادة الألمنيوم.

كذلك تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيّر قطر فتحة المسدد وطاقة أشعة غاما ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف باستخدام المصدرين المشعين المذكورين.

استنتج من هذا البحث أنّه يزداد عامل تراكم أشعة غاما بنقصان العدد الذّري لمادة الدّرع وبزياده سمكه ويقل بزيادة المسافة بين المصدر المُشع والكاشف وبزيادة قطر فتحة المسدد وكذلك يقل بزيادة طاقة هذه الأشعة أو طاقة المصدر المشع.

المحتويات

الموضوع	الصفحة
الآية القرانية	٢
الإهداء	٣
شكر وتقدير	٤
الخلاصة	٥
المحتويات	٦
الفصل الأول: -المقدمة	٧
الفصل الثاني (الجانب النظري): - ٢-١ المقدمة - ٢-٢ تفاعل أشعة غاما مع المادة - ٢-٣ توهين أشعة غاما - ٢-٤ عامل التراكم - ٢-٥ أنواع عامل التراكم - ٢-٦ العوامل التي تؤثر في عامل التراكم - ٢-٧ طرائق حساب عامل التراكم - ٢-٨ تأثير الاشعة على الكائنات الحية	١١ ١٢ ١٢ ١٦ ٢٠ ٢١ ٢٢ ٢٢ ٢٣
الفصل الثالث (الجانب العملي): - ٣-١ منظومة العمل والقياس - ٣-٢ طريقة العمل - ٣-٣ الحسابات والنتائج - ٣-٤ الاستنتاجات	٢٥ ٢٦ ٢٨ ٢٩ ٣٧
المصادر	٣٨

الفصل الأول

المقدمة

الفصل الأول

نتيجة للتّطوّر الهائل الذّي حصل في مجالات التقنيّة النووية أصبح الانسان معرضاً بشكل أكبر إلى أنواع مختلفة من الإشعاعات، إذ تسبّب ذلك في تعرّض الانسان والبيئة المحيطة إلى مخاطر الإشعاع لذا أصبح من الضروري المحافظة على سلامة العاملين وتأمين بيئة العمل الآمنة وحماية البشرية جمعاء من التّعرّض لتلك الإشعاعات. وتم ذلك باستخدام الدروع النووية الواقية من الإشعاع (الدروع الإشعاعية) ووظيفتها توهين تأثير الإشعاع وخفض شدته. حيث يعتمد تصميم هكذا دروع على نوع الإشعاع المؤين وطاقته فضلاً عن خصائص مواد التدريع.

أن التدريع ضد أشعة غاما يتطلب كتل كبيرة الحجم والوزن وكلفة عالية لذلك جاءت المواد المتراكبة حلاً لمشاكل التدريع وبديلاً عن المواد التقليدية كونها تتميز بخواص تناسب العديد من التطبيقات الصناعية وإمكانية التحكم بخواصها سواء عن طريق السيطرة على نوع ونسب المواد المكونة لها أو من خلال تصاميمها وطرائق تصنيعها.

عامل التراكم (Buildup Factor) يعرّف بأنه نسبة شدة الحزمة العريضة إلى الحزمة الضيقة لأشعة غاما، ويعتمد على كثير من المتغيرات منها سمك المادة المخترقة والشكل الهندسي لكل من الدرع و المصدر المشع ونوع مادة الدرع وطاقة المصدر المشع إضافة إلى العامل الهندسي الذي يعتمد المسافة بين المصدر المشع و الكاشف. ولفهم عامل التراكم نفاعل أشعة غاما مع مادة الدرع حيث ينتج عنها أشعة ثانوية متعددة وتكون على نوعين: أشعة متفاعلة وأشعة نافذة بدون تفاعل، وأن النسبة بين الأشعتين هي ما يمثل عامل التراكم؛ أي أنه يمثل نسبة العدد الكلي لفوتونات أشعة غاما المنبعثة من المصدر في نقطة ما إلى العدد غير المستطار (غير المتفاعل) النافذ من الدرع في النقطة نفسها. إذ أن هذا العامل غالباً ما يعطى على شكل جداول جاهزة ذات قيم تختلف من مادة إلى أخرى ومن طاقة إلى أخرى. [١]

في عام 1994م، أجرى الأستاذ الدكتور خالد حسين هاتف العطية، من جامعة بابل، كلية العلوم/ قسم الفيزياء، دراسة عن قياس عامل تراكم أشعة غاما الصادرة من (السيزيوم-137) و(الكوبالت- 60) باستخدام دروع من (الألمنيوم، الرصاص، الحديد، الكونكريت، النحاس). وقد أثبتت دراسة الدكتورالعطية أن عامل التراكم يزداد بزيادة سمك الدرع ونقصان العدد الذري لمادة الدرع ونقصان طاقة المصدر المشع. [٢]

في عام ٢٠٠١م، قام ألبيتي بدراسة عامل التراكم لأشعة غاما خلال دروع منفردة ومتعددة الطبقات عملياً ونظرياً، وتضمنت الدراسة العملية قياس عامل تراكم أشعة غاما الصادرة من (السيزيوم-137) و(الكوبالت- 60) ووجد أن عامل التراكم يزداد بزيادة السمك و يقل بزيادة طاقة المصدر المشع ونقصان العدد الذري لمادة الدرع. [٣]

كما قام C. Singh وجماعته في عام (٢٠٠٤م) بدراسة تأثير كل من سمك المادة الماصة وحجم المسدد في قياس عامل تراكم أشعة غاما الصادرة من مصدر السيزيوم لمواد البرسبكس والبكلات ، وقد أثبتت هذه الدراسة أن حجم المسدد وسمك المادة الماصة تمنع وصول الاستطارات المتعددة إلى الكاشف. [٤]

أما في عام ٢٠٠٥م فقد قام الدكتور علي أبو جاسم بدراسة تأثير كل من سمك الدرع والمسافة بين المصدر المشع والكاشف وطاقة المصدر المشع وقطر فتحة المسدد على قياس قيمة عامل تراكم أشعة غاما في الماء الصادرة من مصدري السيزيوم- 137 والكوبالت – 60، وقد وجد أن عامل تراكم أشعة غاما في الماء يزداد بزيادة سمك طبقة الماء ويقل بزيادة المسافة بين المصدر المشع والكاشف ويقل ايضا بزيادة طاقة المصدر المشع وقطر فتحة المسدد. [٥]

تقسم مصادر الإشعاع الى قسمين رئيسيين هما: الإشعاع الطبيعي والإشعاع الصناعي الناتجين عن إضمحلال (تفكك) النظائر المشعة تلقائياً بشكل طبيعي أو بوجود مؤثر خارجي، وما يرافقه من انبعاث لجسيمات نووية مثل جسيمات ألفا و بيتا أو أشعة كهرومغناطيسية كأشعة غاما، بالإضافة الى الاشعة السينية التي تصدر من المدارات المحيطة بالنواة أو نتيجة لإصطدام الإلكترونات المتسارعة وتفاعلها مع الذرة. [٦]

الإشعاع الطبيعي مثل الأشعة الكونية التي تنتج نتيجة قذف الأرض والغلاف الجوي بسيل إشعاعي قوي من الشمس والنجوم الأخرى، ألا أن معظم هذا الإشعاع يمتص في الغلاف الخارجي للكرة الأرضية الذي يعمل كدرع إشعاعي ولا يصلنا منه ألا الجزء اليسير، ولولا هذا الامتصاص لاستحالت الحياة على الكرة الأرضية. تحتوي الأشعة الكونية على ما نسبته 87%، بروتونات وحوالي 11% جسيمات ألفا و 1% أنوية ثقيلة و 1% الكترونات، وتتراوح طاقة هذه الحزمة الإشعاعية ما بين 10 MeV لغاية 100GeV. يؤدي اصطدام النيترونات مع ذرات الغاز في الهواء مثل النيتروجين والاكسجين الى حدوث تفاعل نووي وتصبح هذه الذرات نظائر مشعة مثل الكربون 14.

أما بالنسبة إلى انبعاث الإشعاعات من نواة الذرة فهو نتيجة التضارب الشديد بين قوى الجذب النووي وقوى التنافر الكهربائي داخل أنوية الذرات غير المستقرة. أنواع الانبعاثات الأكثر شيوعا هي انبعاث ألفا وبيتا وغاما بالإضافة الى عدة أنواع أخرى اقل شيوعاً مثل القنص الإلكتروني (Capture Electron) وانبعاث البوزترون والتحول الداخلي وغيره من الانبعاثات الأخرى. وتعرّف أشعة غاما على أنها عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تقع ضمن الطيف الكهرومغناطيسي الذي يحوي ضمنه الأشعة المرئية وموجات الميكروويف وأشعة أكس. أن هذه الأشعة وأشعة اكس تكون ذات طاقة عالية جداً بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي مما يجعلها قادرة على تأيين الذرات عند تفاعلها مع المادة. [٧]

بما أن أشعة غاما هي طاقة فوتونية موجية فهي لا تتأثر بالمجال الكهربائي أو المغناطيسي كما هو الحال في جسيمات ألفا وبيتا المشحونة. بالإضافة إلى اختلاف طريقة تفاعلها مع المادة عن طريقة تفاعل الجسيمات المشحونة. [٨]

مصدر أشعة غاما هو أنوية النظائر والتي تكون في أغلب الأحيان نواة مثارة نتيجة حصول تفاعل نووي أدى الى انبعاث جسيمات ألفا أو بيتا للتخلص من الطاقة الفائضة في النواة وأعادتها الى حالتها المستقرة. بالإضافة إلى احتمالية أن تعطي طاقتها الى أحدى الإلكترونات المدارية القريبة بالعادة K ليترك الذرة حاملاً معه هذه الطاقة ويدعى هذا التفاعل بالتحول الداخلي (Conversion Internal)، وتتميز هذه الإلكترونات بطاقتها المحدودة لطاقة النواة مطروحاً منها طاقة الربط في المدار. [٩]

تعتبر أشعة غاما أكثر أهمية عندما يتم تصميم وإعداد الحواجز الواقية من الإشعاع والأكثر مدعاة للقلق في مجال الوقاية الإشعاعية نظراً لمدى اختراقها الكبير للحواجز الواقية وللجسم البشري وغيره من نظائر الغازات المشعة. لعامل التراكم أهمية في كثير من التطبيقات، مثل تصميم دروع المفاعلات النووية وفي مجال الفيزياء الصحية، وكذلك في تدريع بعض المختبرات البحثية التي تتطلب مصادر مشعة ذات طاقات عالية و فعاليات إشعاعية عالية. ويكمن سر أهمية هذا العامل في دخوله عامل تصحيح في الحسابات المتعلقة بالسمك الملائم لتدريع المصادر المشعة لأشعة غاما. [١٠]

الفصل الثاني
الجانب النظري

الفصـــل الثانـــي

٢-١ المقدمة:

في أغلب الأحيان تمتلك النواة طاقة أعلى من طاقتها في الحالة الأرضية (المستقرة) وذلك عندما تكون النوى الوليدة في حالة مثارة أو متهيجة، أي أنها ناتجة عن تفكك ألفا أو بيتا أو أية عملية نووية كالتفاعلات النووية مثلاً، ويمكن التخلص من طاقة الاثارة هذه عن طريق إصدارات الإشعاعات الكهرومغناطيسية (إشعاعات غاما) ويحدث ذلك بانتقال النواة من الحالة المثارة الى الحالة الأرضية أما بشكل مباشر (طفرة واحدة) أو على شكل مراحل، على سبيل المثال عند حدوث تفكك بيتا لنواة الصوديوم (NA^{22}). سواء عن طريق التفكك البوزتروني أو عن طريق الأسر الالكتروني تكوّن النواة عنصر جديد وهو النيون ٢٢. [١١]

ان دارسة خواص التدريع لمادة ما ضد أشعة غاما تعتمد بشكل أساسي على حساب قيم معامل توهين الأشعة وعامل التراكم للأشعة في المادة .

٢-٢ تفاعل أشعة غاما مع المادة Interaction of gamma rays with the matter:

على الرغم من تعدد آليات تفاعل فوتون أشعة غاما مع المادة فإن الآليات الرئيسة الثلاثة التي تستقطب الإهتمام تتمثل بالظاهرة الكهروضوئية وإستطارة كومبتن وإنتاج الزوج وذلك بسبب احتمالية حدوثها العالية مقارنة بالتفاعلات الأخرى للفوتونات، ويمكن تصنيف هذه التفاعلات إلى:

١- التأثير الكهروضوئي (Photo Electric Effect)

في هذه الظاهرة تُمتص طاقة الفوتون (أشعة غاما) الساقط كلياً من قبل إلكترون مرتبط بالمدارات الداخلية للذرة، وبهذا سوف يختفي الفوتون و ينفصل الإلكترون عن الذرة تاركاً إياها أيوناً موجباً، وإن الطاقة الحركية التي سينطلق بها الإلكترون المتحرر هي:

$$E_e = E_\gamma - B.E \qquad \text{.....(٢-١)}$$

إذ أن: E_e : طاقة الإلكترون الخارج.

E_γ : طاقة الفوتون الساقط.

B.E: طاقة ارتباط الإلكترون بالذرة (Binding Energy) وتسمّى أيضا بدالة الشغل Work Function.[12]

ويحسب المقطع العرضي (τ) لكل ذرة في الامتصاص الكهروضوئي في القشرة (k) بالعلاقة الآتية:

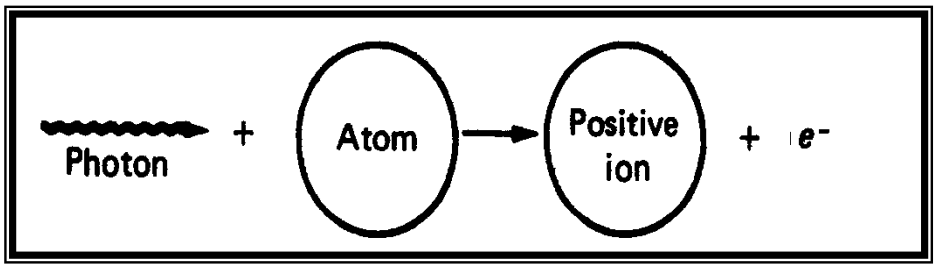
$$\tau = constant * \frac{Z^n}{E_\gamma^{3.5}} \qquad \text{..... (2-2)}$$

إذ أن:

n : تأخذ قيم من (4- 5)

Z : العدد الذري للمادة الماصة. [١٣]

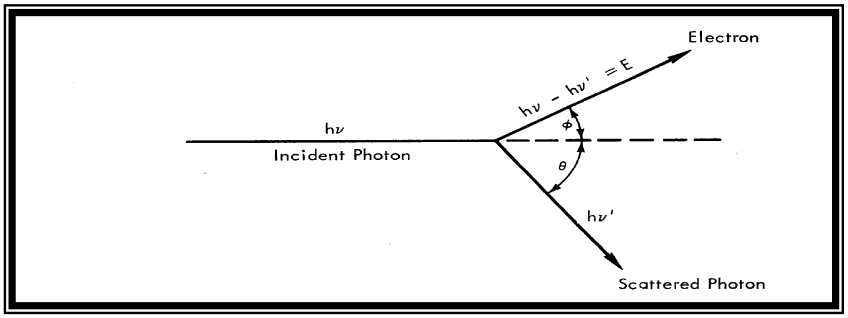
والشكل التالي يوضّح التأثير الكهروضوئي:



الشكل (٢-١) التأثير الكهروضوئي [14] .

٢- استطارة كومبتون Compton Scattering:

وهي استطارة غير مرنة تحدثُ بين الفوتون الساقط والكترونات المدارات الخارجية للذرات اذ تكون تلك الالكترونات ضعيفة الارتباط بالنواة مما يسبب فقدان جزء من طاقة الفوتون حيث تعطى الى الإلكترون مسبباً انبعاثه خارج حيز الذرة بزاوية ø وبطاقة حركية E_e حيث يحافظُ فيه كلٌ من الفوتون المستطار بزاوية θ والإلكترون المتحرر على قانون حفظ الطاقة والزخم، كما موضح بالشكل (٢-٢)



الشكل (٢-٢): استطارة كومبتن [15] .

وأنّ الطاقة الحركية للإلكترون المتحرر توضح بالعلاقة الاتية:-

$$E_e = h\nu - h\nu' \qquad \text{.....(3-2)}$$

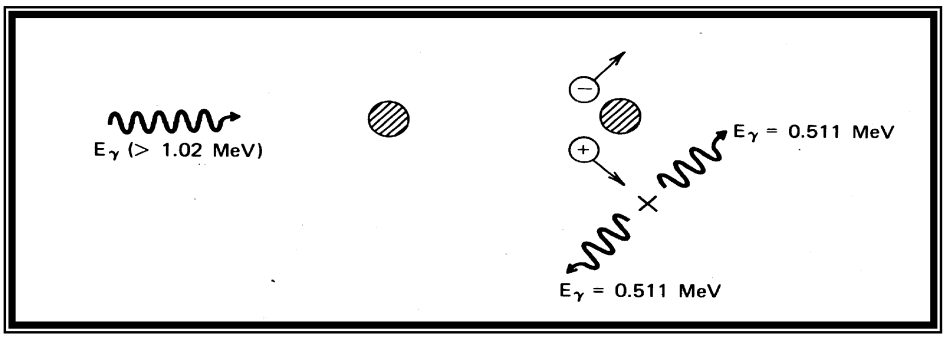
إذ أن : E_e : الطاقة الحركية للالكترون.

h : ثابت بلانك.

ν ، ν' : تردد كل من الفوتون المستطار والفوتون الساقط على الترتيب.

٣- إنتاج الزوج: Pair Production

وهي ظاهرة تلاشي فوتون الأشعة الساقطة على المادة في مجال النواة الكولومي متحوّلاً زوج إلكترون- بوزترون عندما تكون طاقة الفوتون مساوية أو أكبر من (1.022 Mev) والمساوية الى ضعف كتلة السكون للألكترون. كما في الشكل (٢-٣)



الشكل (2-3): إنتاج الزوج [16]

أن مجموع الطاقة الحركية للإلكترون والبوزترون تساوي طاقة الفوتون الساقط مطروحاً منه طاقة العتبة وكما يأتي:

$$E_{e-} + E_{e+} = E_\gamma - 1.022MeV \qquad \text{.....(4-2)}$$

تتوزع الطاقة بالتساوي تقريبا بين الإلكترون و البوزترون، و يكسب البوزترون ما يزيد قليلاً عن نصف الطاقة بسبب تنافره مع النواة المشابهة لها بالشحنة.

أنّ المقطع العرضي لإنتاج الزوج موضح بالعلاقة:

$$\kappa_a = Z^2 f(Z) \quad cm^2/atom \qquad \text{..... (5-2)}$$

حيث: f : دالة تعتمدُ على العدد الذري Z .

بعد فقدان البوزترون معظم طاقته الحركية يرتبطُ بالكترون مداري لينتج "ذرة" مؤقتة تسمى "البوزترونيوم" التي تفنى لتعطي غالباً فوتونين متعاكسين بزاوية 180° وبطاقة (0.511MeV) لكل فوتون وتعرف بفوتونات الفناء (Photons Annihilation).

كما ان الاحتمالية الكلية للتفاعل هي مجموع الاحتمالات الثلاثة إذ يعتمد كل معامل على طاقة الفوتون والعدد الذري للمادة. [17]

$$\mu(cm^{-1}) = \tau + \sigma + \kappa \qquad \text{..... (6-2)}$$

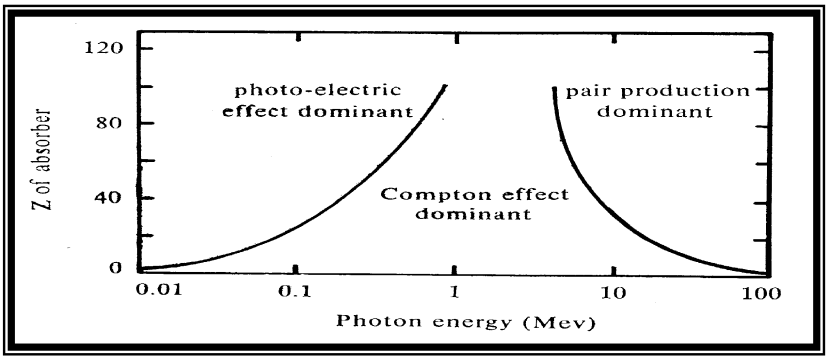
$$\mu_m(cm^2/gm) = \frac{\mu}{\rho} \qquad \text{..... (7-2)}$$

إذ أن : ρ : الكثافة

$\mu(cm^{-1})$: معامل التوهين الخطي للمادة، وفيزيائياً يُعرّف (احتمالية تفاعل الفوتون لكل وحدة مسافة من المادة) .

$\mu_m(cm^2/gm)$: معامل التوهين الكتلي .

و يوضح الشكل (2-4) العلاقة بين التأثير الكهروضوئي واستطارة كومبتن وتولد الازدواج مع كل من الطاقة والعدد الذري.



الشكل (2-4) يوضح الطرائق الرئيسة الثلاثة لتفاعل لفوتون وعلاقتها بالعدد الذري والطاقة [18]

ويمكن أن نستنتج من هذا الشكل ما يأتي :

1- المقطع العرضي للتأثير الكهروضوئي (τ) يسودُ في طاقات الفوتون الواطئة وللمواد ذي الأعداد الذرية الكبيرة.

2- المقطع العرضي لتأثير كومبتون (σ) يسودُ في طاقات الفوتون المتوسطة ، وللمواد ذي الأعداد الذرية القليلة.

3- المقطع العرضي لإنتاج الزوج (κ) يسودُ في طاقات الفوتون العالية، وللمواد ذي الأعداد الذرية الكبيرة.

3-2 توهين أشعة غاما Gamma-Ray Attenuation

أن توهين أشعة غاما (الامتصاص و الاستطارة) داخل المادة يمكن دراسته من خلال قياس التغيير في شدة الأشعة النافذة (المسددة بشكل جيد) مع تغير سمك المادة، ويحسب معدل شدة أشعة غاما النافذة من حاجز أو درع ما من صيغة لامبرت:

$$I_X = I_O \exp(-\mu x) \qquad \text{.....(8-2)}$$

إذ أن:

I_x معدل شدة الأشعة النافذة من خلال حاجز سمكه (x).

I_0 معدل شدة الأشعة الساقطة من دون وجود المادة الماصة.

μ معامل الامتصاص الكلي.

χ سمك المادة الماصة. [19]

أن هذه العلاقة الأسية تبين عدم وجود مدى محدد لأشعة غاما داخل المادة، لذلك اتفق العلماء على مصطلح معدل المسار الحر (Mean Free Path) وهو معدل المسافة المقطوعة قبل التفاعل الذي يرمز له بالرمز(m.f.p). ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{\int_0^{\infty} x \exp(-\mu x) dx}{\int_0^{\infty} \exp(-\mu x)} = \frac{1}{\mu}$$

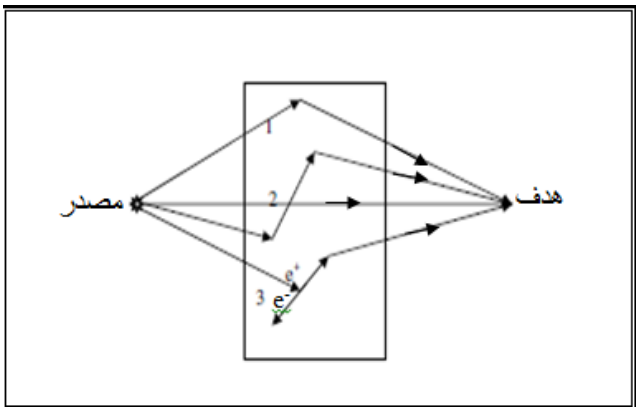
$$\mathbf{Distance}(m.f.p) = \frac{x}{\lambda} = \mu x \quad \text{..... (9-2)}$$

ويعتبر استعمال هذا المصطلح ملائماً في دراسة أنتقال الفوتونات في المادة إذ تعرف بعض المتغيرات مثل عامل التراكم بدلالة (m.f.p) كمقياس للمسافة .ان المعادلة (2-8) تصح عند توافر شرطين أساسيين هما :

١- ان تكون حزمة الفوتونات ضيقة جدا ومتوازية ووحيدة الطاقة.
٢- ان يكون سمك مادة التوهين قليل جدا.[٢٠]

أما في جميع الحالات التي تكون فيها حزمة الفوتونات عريضة او غير متوازية، او يكون سمك الدرع كبيراً نسبياً (وهذه هي الظروف العملية في جميع الحالات تقريبا)، تصبح العلاقة السابقة غير صالحة للتطبيق بسبب ما يعرف باسم التراكم (Build-up)

الـذي ينـتج مـن تـراكم الفوتونـات فـي النقطـة المعينـة. ويوضـح الشـكل (2-5) مفهـوم التراكم:



الشكل (2-5) يوضح كيفية حدوث عملية التراكم [21] .

عندما يصل عدد قليل من الفوتونات المستطارة والثانوية إلى الكاشف بسبب تسديد حزمة أشعة جامـا بمسدد يقلل إلـى حد كبير عدد تلك الفوتونـات المستطارة، كمـا فـي الشكل ويسمى هذا الترتيب بالترتيب الهندسي الجيد ويستخدم هذا، أو الحزمة الضيقة (Good Geometry) ويستخدم هذا الترتيب في القياسات العملية لمعامل الامتصاص. وعندما يصل جزء كبير من الفوتونات المستطارة والثانوية إلى الكاشف فان ترتيب المنظومة هذا يسمى بالترتيب الهندسي الرديء (Bad Geometry) او الحزمة العريضة وبسبب تأثير الإشعاعات الثانوية في الكاشف يصبح التوهين في حالة الحزمة العريضة أكبر مما هو عليه في حالة الحزمة الضيقة وسوف يدخل عامل تصحيح في المعادلة يسمى عامل التراكم (B) (Buildup Factor). [22]

يمكن كتابة المعادلة (2-8) بالنسبة الى الحزمة العريضة (ترتيب هندسي رديء) بالصيغة الاتية:

$$I_{t.b} = BI_{o.b}\exp(-\mu x) \quad \text{..... (10-2)}$$

حيث إن :

$I_{t.b}$: الشدة الكلية للحزمة الخارجة من الدرع (الحزمة العريضة).

$I_{o.b}$: الشدة الكلية للحزمة الساقطة (الحزمة العريضة).

B : عامل التراكم (Buildup Factor) .

اما بالنسبة إلى الحزمة الضيقة (ترتيب هندسي جيد) وبإعادة صياغة المعادلة (2-8) نحصل على:

$$I_{u.n} = I_{o.n} \exp(-\mu x) \quad \text{.....} \quad (11\text{-}2)$$

إذ أن:

$I_{u.n}$: شدة الحزمة الخارجة من الدرع (الحزمة الضيقة) .

$I_{o.n}$: شدة الحزمة الساقطة (الحزمة الضيقة) .

وبتعويض المعادلة (2-14) في المعادلة (٢-١٥) نحصل على قيمة عامل التراكم B :

$$B = \frac{\left(\frac{I_{t.b}}{I_{o.b}}\right)}{\left(\frac{I_{u.n}}{I_{o.n}}\right)} \quad \text{.....} \quad (12-2)$$

الكواشف الغازية Gas Detector

يقوم مبدأ الكواشف الغازية على تجميع الشحنات الكهربائية (الألكترونية والأيونية) الناتجة عن تأين ذرات او جزيئات الغاز عند مرور الاشعاعات المؤينة فيه. وبقياس الشحنة الكهربائية الناتجة أو التيار الناتج عنها يمكن الكشف عن مرور الاشعاعات في الغاز. سنأخذ نوعين من الكواشف كمثال على الكواشف الغازية هما غرفة ألتأين وعدادات جايجر- ميلر[23] .

النوع الاول :غرفة التأين Ionization Chamber

هي عبارة عن كاشف غازي (Gas Detector) للإشعاعات ويقوم عملها على تجميع الأزواج الإلكترونية الأيونية الناتجة عن الإشعاعات بشكل تيار كهربائي وقياس هذا التيار وتتكون غرفة التأين عموما من قطبين فلزيين موصلين بطرفي منبع جهد عالٍ وقد يتخذ القطبان أشكالاً مختلفة ولكن في معظم الأحيان يكونا على شكل ألواح مستوية. ويوضع القطبان داخل

إناء مفرغ من الهواء الجوي ويملأ بالغاز المطلوب حتى ضغط معين .ويتوقف ضغط الغاز على الأبعاد الهندسية للقطبين عموماً على نوع الجسيمات المطلوب الكشف عنها وعلى طاقاتها.

خصائص غرفة التأين:

تستخدم جميع غرف التأين عند قيم الجهود التي تحقق تيار التشبع وهو ما يعرف بالعتبة. ونظراً الى بساطتها وسهولة تشغيلها فإنه يمكن تصميم غرف بإشكال و أحجام مختلفة واستخدامها لقياس جميع أنواع الإشعاعات بما في ذلك إشعاعات غاما والنيوترونات .يمكن إستخدام غرف التأين لقياس القيمة المتوسطة للتيار الناتج عن عدد من الجسيمات أو لقياس نبضات التيار(أو الجهد) الناتج عن مرور جسيم واحد ويعرف هذا النظام الاخير لتشغيل التأين بالنظام النبضي وهو غالباً ما يستخدم عند قياس الشدة الإشعاعية الضعيفة أو عند قياس طاقة الإشعاعات. وعموماً يمكن إستخدام غازات مختلفة داخل الغرفة.

النوع الثاني :عداد جايجر-ميلرGeiger-Muller Counter

عند زيادة الجهد بين قطبي العداد التناسبي الى ما بعد منطقة التناسب يزداد معامل التضاعف زيادة هائلة وبالتالي يزداد التيار. ويرجع السبب في ذلك الى زيادة إحتمال إنطلاق الفوتونات فوق البنفسجية عند تصادم الإلكترونات بجزيئات الغاز وتكوين إلكترونات كهروضوئية. وعند هذه الجهود العالية تصبح هذه الفوتونات هي المسؤول الأساسي عن الألكترونات الثانوية .وينتشر التأين الثانوي في جميع أنحاء العداد وبالتالي يصل العداد إلى حالة التفريغ الكهربائي وينتج عن ذلك تيار كبير للغاية دون النظر إلى عدد الإلكترونات الأولية. ويعرف العداد عند هذه الجهود بإسم عداد جايجر- ميلر(وهما مكتشفاه).

4-2 عامل التراكم : Buildup Factor

هنالك الكثير من العوامل التي تؤثر بشكل مباشر في تصميم الدروع النووية الواقية من الإشعاع أو إختيار موادها ومن هذه المؤثرات، إن لم تكن أهمها، هي مسألة تشتت الإشعاع المتكرر عند مروره في مادة الدرع النووي، فعند مرور أشعة غاما مثلا في مادة درع معين تتشتت لأكثر من مرة واحدة وقد تعود أشعة غاما التي سبق أن تشتتت للدخول مرة ثانية إلى

الكاشف وكأنها لم تتأثر بأي تشتت وبذلك تحسب عملياً على أنها أشعة غير متصادمة وهذا يؤدي إلى إختلاف وتفاوت كبيرين بين الحسابات النظرية وحسابات النتائج العملية، حيث أن الحسابات النظرية تتعامل مع هذه الأشعة المتشتتة والعائدة إلى العداد مرة أخرى على أنها أشعة متصادمة؛ أي تطرح من الحسابات النظرية وبشكل نهائي. ولتفادي هذا الفرق الكبير بين النتائج العملية والحسابات النظرية يتم اللجوء إلى إدخال عامل معين ومهم إلى الحسابات النظرية للتقريب بين نتائجها والنتائج العملية وهذا العامل هو ما يسمى بـ (عامل التراكم) حيث أن هذا العامل غالبا ما يعطى على شكل جداول جاهزة ذات قيم مختلفة من مادة إلى أخرى ومن طاقة إلى أخرى، وبهذا يتم تفادي هذا الإختلاف المهم بين النتائج التجريبية ونتائج الحسابات النظرية.[24]

5-2 أنواع عامل التراكم : Buildup factor types

يقسم عامل التراكم الى ثلاث أنواع وهي:

١- عامل التراكم العددي (B_N): ويعطى بالعلاقة الآتية :

$$B_N = \frac{\int N_t dE}{\int N_{uns} dE} \quad \text{..... (13-2)}$$

N_t : العدد الكلي للفوتونات الواصلة الى الكاشف.

N_{uns} : عدد الفوتونات غير المستطارة الواصلة الى الكاشف وهي دوال للطاقة والاتجاه .[24]

2- عامل تراكم الطاقة (B_E) : يعطى بالعلاقة الآتية:

$$B_E = \frac{\int E_t dE}{\int E_{uns} dE} \quad \text{..... (14-2)}$$

E_t : طاقة الفوتونات الكلية الواصلة الى الكاشف

E_{uns} : طاقة الفوتونات غير المستطارة الواصلة الى الكاشف. [25]

3- عامل تراكم الجرعة (B_D): يعطى بالعلاقة الآتية :

$$B_D = \frac{\int \mu_{air} E_t dE}{\int \mu_{air} E_{uns} dE} \qquad \text{.....(15-2)}$$

إذ μ_{air} : معامل امتصاص الطاقة في الهواء.

ويمكن لعامل التراكم أن يكون دالة للعديد من المفاهيم الفيزيائية مثل (الطاقة الممتصة، والطاقة المترسبة، والتعرض، والجرعة المكافئة) فهي تؤدي دوراً مهماً في المعادلات الخاصة بتدريع الإشعاع والوقاية منه واستعماله في التطبيقات السلمية. [٢٦]

6-2 العوامل التي تؤثر في عامل التراكم: Factors effect on buildup factor

١- سمك المادة المخترقة (معدل المسار الحر).

٢- الشكل الهندسي لكل من الدرع و المصدر المشع.

٣- نوع مادة الدرع.

٤- طاقة المصدر المشع.

٥- زاوية سقوط الأشعة الرئيسية على الدرع.

٦- العامل الهندسي (الذي يعتمد على المسافة بين المصدر المشع و الكاشف).

٢-٧ طرائق حساب عامل التراكم: Methods of buildup factor measure

من الطرائق المستعملة في حسابات عامل التراكم :

1- الحسابات العملية (Experimental Measurement): أو القياسات المباشرة وتعتمد على بناء منظومات عد، ويتم قياس عامل التراكم للدروع بصورة مباشرة تبعاً لطاقة المصدر.

2- الحسابات التجريبية (Empirical Measurement): وفيها يتم إتباع جداول خاصة بمعاملات كل معادلة.

3- حسابات بأساليب النمذجة والمحاكاة (Modeling & Simulation Approach): ويتضمن هذا النوع من الحسابات تصميم برنامج (Program Code) الذي يعتمد التحليل والمحاكاة بوصفه أسلوباً في حساب عامل التراكم، ومن أهم الطرائق المستعملة في هذه الحسابات:

أ- طريقة العزوم Moment Method

تعد من الطرائق التحليلية التي اقترحها العالمان (Fano & Spencer) لأجراء حسابات التوهين لأشعة غاما داخل المواد، وتعتمد في مضمونها على إيجاد التغيرات الحاصلة في فيض الطاقة الزاوية بوصفه دالة للطاقة والموقع والاتجاه [27] .

ب- طريقة مونتي كارلو (Monte Carlo Method)

تعدُّ من الطرائق الرياضية التي ظهرت خلال نهاية الأربعينيات وبداية الخمسينيات من القرن الماضي، وتم الاستفادة منها في حل المسائل الإحصائية (Statistical problems) لاعتمادها الاختيار أو الانتقاء العشوائي للمتغيرات الرياضية والفيزيائية، لذا فهي محدودة الاستعمال قبل تطور تكنولوجيا الحاسبات الذي ادخلها مرحلة جديدة لحل المسائل العلمية والهندسية المعقدة التي ليست لها صيغة رياضية أو لايمكن الاعتماد على الجهد الشخصي في حلها [28] .

٢-٨ تأثير الاشعة على الكائنات الحية:

أن الخلية هي الوحدة البنائية الأساسية للحياة بكل اشكالها الحيوانية والنباتية. يبدأ الخطر بهجوم الأشعة على الخلايا التي تشكّل الأنسجة والأعضاء والاجسام.

تأثير الأشعة على الخلايا:

إن الأشعة تعدل وتغير الجهاز الوراثي، وتتدخل في عملية انقسام الخلية، وتسبب موتها بكميات معينة من الاشعاع . تتعلق أخطر نتائج الإشعاع بالإنكسارت الكروموسومية والطفرات، والطفرة هي بمثابة تغير في المادة الوراثية ينتقل بعد عملية الإنقسام إلى الأجيال اللاحقة

بصورة مطابقة للأصل وتختلف الخلايا في قابليتها للموت بسبب الاشعة. أن ارتفاع عدد الخلايا في عضو معين يساعد على مقاومة الأشعة، وقليل من الخلايا الحيوانية السريعة الإنقسام تتحمل ٥٠٠ راد. علماً أن المعدل الوسطي للجرعة المميتة للخلية الواحدة يساوي 100 راد) الراد: وحدة قياس جرعة الأشعة الممتصة تساوي 100 ارغ غرام من النسيج).[29]

الفصل الثالث

الجانب العملي

الفصل الثالث

٣-١ منظومة العمل والقياس: Work and measurement system

ان منظومة العمل والقياس المستخدمة للدراسة الحالية تتألف من الأجزاء الآتية :

أ- منظومة العد: Counting System

تم استخدام منظومة العد الخاصة بكاشف عداد جايجر- ميلر Geiger-Muller counter tube المبينة في الشكل (٢). يتكون الكاشف من :

١-أنبوبة العد : Counting Tube

هي عبارة عن أنبوبة معدنية يمر بداخلها سلك معدني وسطي يخترق الأنبوبة من أحد طرفيها ومعزول عن جدارها كهربائياً، والطرف الأخر للأنبوبة مفتوح ومزود بنافذة من الميكا. إن أنبوبة عداد جايجر- ميلر Geiger-Muller counter tube المستخدمة في منظومة العد تحمل المواصفات التالية:

GAT: PA1885-020,030

TYPE ABG, hi-energy ALPHA/BETA/GAMA

INDUSRIAL EQUIPMENT & CONTROL PTY. LTD. AUSTRALIA

ويملأ داخل الأنبوبة أو الأسطوانة بغاز نبيل أو خامل مثل الأركون مضافاً إليه بخار كحول أثيلي تحت ضغط واطئ. تسلّط فولتية مناسبة على أنبوبة الكاشف بحيث يربط جدار الأنبوبة الى الجهد السالب (الكاثود) والسلك الوسطي الى الجهد الموجب (الانود) [32]. حيث يتم تشغيل أنبوبة العداد بفولتية تشغيل (450 volt) .

٢- العداد والمؤقت: Timer & Counter

يعمل العداد على عرض العدد الكلي للنبضات الناتجة عن دخول الإشعاعات المؤينة الى أنبوبة العداد، أما المؤقت فيعمل على السيطرة على العداد لتحديد الفترة الزمنية المطلوبة للعد وفي هذه الدراسة يحدد معدل العد لمدة (100 sec).

الشكل (2): يمثّل منظومة العد الخاصة بكاشف عداد كايكر- موللر.

ب- المصادر المشعة: Radioactive Sources

المصدران المشعان المستخدمان في هذا البحث هما:

الكوبالت (Co-60): بفعالية إشعاعية (0. 699 µCi) وعمر نصف مقداره (5.27y)، والذي يبعث فوتونات غاما بطاقتين مقدارهما (1.333 MeV) و (1.173 MeV). أي أنه يبعث أشعة غاما بمعدل (1.253 MeV) .

والسيزيوم (Cs-137): بفعالية إشعاعية (0.284 µCi)، وعمر نصف مقداره (30y).

ج- المسددات والدروع: Collimators & Shields

إن الدروع المستخدمة لدراسة عامل التراكم هي الألمنيوم (Al) والرصاص (Pb) بسمك (10, 6, 2 mm) لكل مادة، وكذلك تم استخدام مسددات من مادة الرصاص أبعادها (50 mm×50×15)، وتم ترتيب منظومة القياس بثلاث قيم مختلفة للمسافة الفاصلة بين الكاشف والمصدر المشع (100, 80, 60 mm) لدراسة اعتماد عامل التراكم على مقدار المسافة بين المصدر المشع والكاشف.

٢-٣ طريقة العمل Method of Work :

أ - لدراسة تأثير العدد الذري والسمك على عامل التراكم رتبت منظومة العد والقياس بالمواصفات الآتية:

-فولتية تشغيل عداد جايجر 450 volt .

-المصدر المشع: (Co-60)

-الدروع :الألمنيوم (Al) والرصاص(Pb) ، بسمك (2, 6, 10)mm

-المسافة { بين المصدر المشع والكاشف (60mm) }

{بين السطح الخارجي للمسددات(50mm)}

{بين الكاشف والمسدد الأول، وبين المصدر المشع والمسدد الثاني(5mm) }.

-نصف قطر فتحة المسددات. (5mm)

-أبعاد كل من المسددات 50×50×15mm .

ب- لدراسة تأثير المسافة بين المصدر المشع والكاشف على عامل التراكم رتبت منظومة العد والقياس بالمواصفات الآتية:

-فولتية تشغيل عداد كايكر 450 volt .

-المصدر المشع: (Co -60) .

-الدروع :الألمنيوم (Al) بسمك (10mm) .

-المسافة : {بين المصدر المشع والكاشف (60, 80, 100)mm }

{ بين السطح الخارجي للمسددات (50mm) }.

{بين الكاشف والمسدد الأول وبين المصدر المشع والمسدد الثاني (5mm)}.

-نصف قطر فتحة المسددات (5mm) .

-أبعاد كل من المسددات 50×50×15mm .

جـ - لدراسة تأثير قطر فتحة المسددات وطاقة المصدر المشع على عامل التراكم رتبت منظومة العد والقياس بالمواصفات الآتية:

-فولتية تشغيل عداد جايجر 450 volt .

-المصدران المشعان:(Co-60) و (Cs-137).

-الدروع: الألمنيوم (Al) بسمك (10mm) .

- المسافة: {بين المصدر المشع والكاشف (60mm) }

{ بين السطح الخارجي للمسددات (50mm) }.

{بين الكاشف والمسدد الأول وبين المصدر المشع والمسدد الثاني (5mm)}.

-نصف قطر فتحة المسددات mm (5, 16, 22) .

-أبعاد كل من المسددات mm (50×50×15) .

٣-٣ الحسابات والنتائج Calculations & Results :

تم دراسة مجموعة محددة من العوامل المؤثرة في مقدار قراءات العد لمدة (100 s.) المسجلة في منظومة عداد جايجر- ميلر وتم أخذ معدل العد لعشر قراءات لجميع القياسات وللترتيبين الهندسيين الرديء والجيد، وكالآتي:

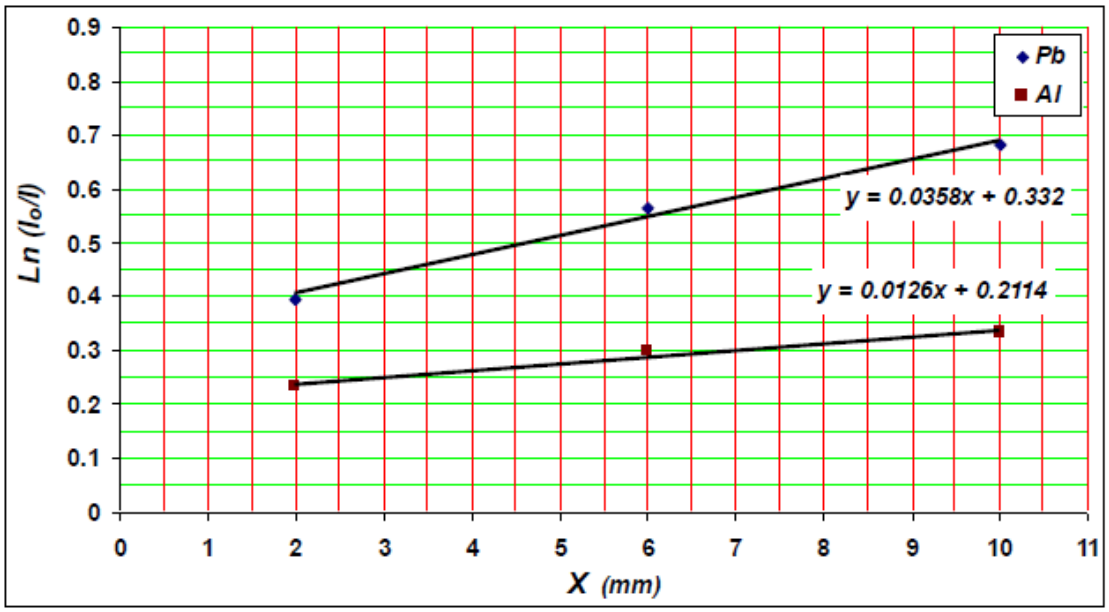
أ -تأثير السمك والعدد الذري في عامل التراكم:

تم حساب معامل التوهين الخطي (μ) لأشعة غاما المنبعثة من مصدر الكوبالت المشع (Co-60) وبمعدل طاقة يساوي (1.253MeV) في مادتي الرصاص والألمنيوم من خلال رسم قيم ($Ln(I_o/I)$) كدالة لسمك المادة (x) كما في الشكل (3) حيث أن قيمة معامل التوهين الخطي تمثّل ميل الخط المستقيم للعلاقة البيانية لكل من مادتي الرصاص والألمنيوم وتساوي ($0.0639mm^{-1}$) و($0.0369mm^{-1}$) على التوالي. وقد تم استخدام قيم هذا المعامل لحساب سمك المادة بوحدات معدل المسار الحر (mfp).

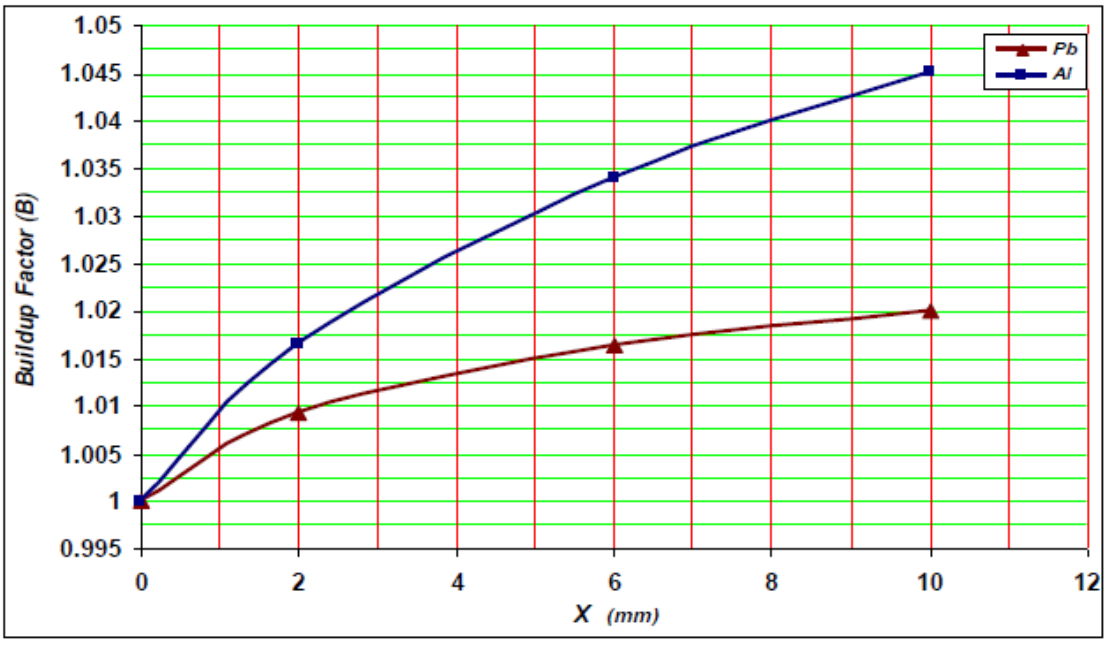
يوضح الشكل (4) عامل التراكم كدالة لسمك المادة بوحدات (mm) باستخدام مصدر الكوبالت المشع (Co-60) ،ولكون قيم هذا العامل ترسم كدالة لسمك المادة بوحدات (mfp)في اغلب البحوث. أما الشكل (5) فيبين أن عامل التراكم يزداد بنقصان العدد الذري لمادة الدرع حيث لوحظ أن عامل التراكم للألمنيوم أكبر منه للرصاص ويزداد بزيادة سمك الدرع، وهذا يتطابق مع ما توصل إليه كل من العطية ، ألبيتي وآخرين.

جدول : (1) عامل التراكم لدروع (Al) و (Pb) باستخدام مصدر الكوبالت المشع (Co-60) .

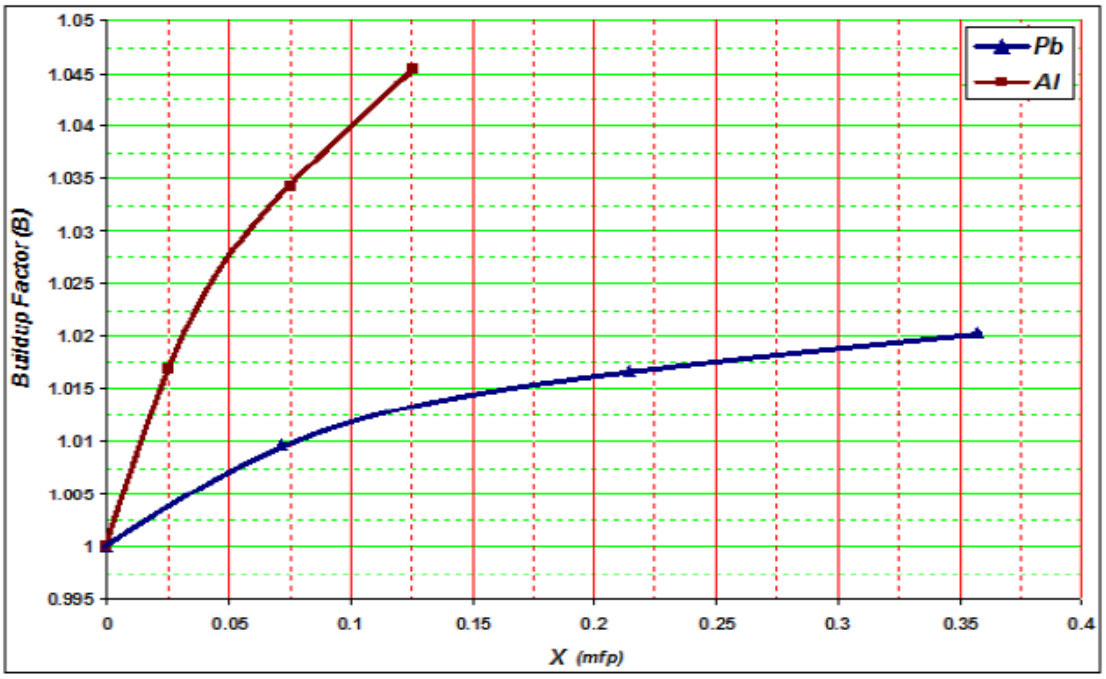
Metal	Thickness X (mm)	X (mfp)	I_b	I_g	$(I/I_o)b$	$(I/I_o)g$	Ln $(I_o/I)g$	B
Non	0	0	761.3	333	1	1	0	1
Al	2	0.0252	614.4	264.3	0.8070	0.7937	0.2311	1.0168
	6	0.0756	584.5	247.2	0.7678	0.7423	0.2979	1.0342
	10	0.1260	571.2	239.0	0.7503	0.7177	0.3317	1.0454
Pb	2	0.0716	517.5	224.2	0.6797	0.6733	0.3956	1.0096
	6	0.2148	440.7	189.6	0.5789	0.5694	0.5632	1.0167
	10	0.3580	392.6	168.3	0.5157	0.5054	0.6824	1.0204



الشكل (3) :يمثّل قيم لوغاريتم نسبة الامتصاصية ($Ln(I_o/I)$) كدالة لسمك الدرع (x) بوحدات (mm) لمادتي الألمنيوم(Al) و الرصاص(Pb) باستخدام مصدر الكوبالت (Co-60) ومسدد قطر فتحته (5mm) ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف.



الشكل (4): يمثّل قيم عامل التراكم لأشعة غاما المنبعثة من مصدر الكوبالت المشع (Co-60) كدالة لسمك دروع الألمنيوم (x) بوحدات (mm) باستخدام مسدد قطر فتحته (5mm) ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف.



الشكل (5): يمثّل قيم عامل التراكم لأشعة غاما المنبعثة من مصدر الكوبالت المشع (Co-60) كدالة لسمك دروع الألمنيوم (x) بوحدات (mfp) باستخدام مسدد قطر فتحته (5mm) ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف.

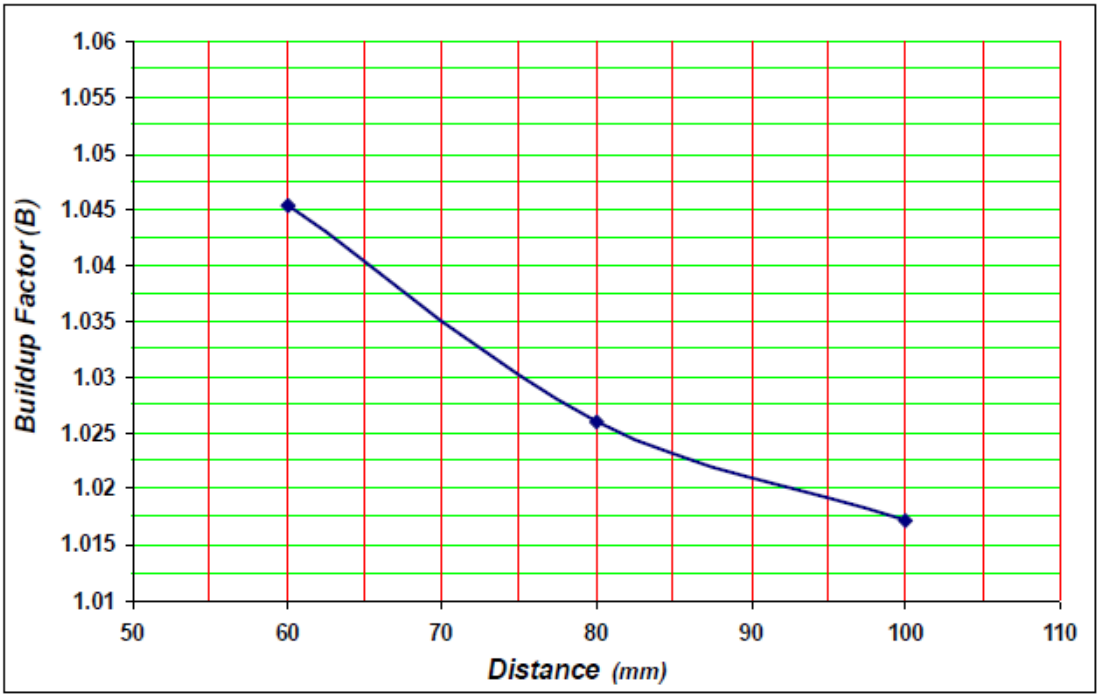
وتفسير ذلك انه عند زيادة سمك الدرع يزداد عدد الالكترونات المدارية وبذلك يزداد عدد الفوتونات المستطارة وهذا بدوره يؤدي الى زيادة عامل التراكم. أما السبب في زيادة قيم عامل التراكم بنقصان العدد الذري فيعزى الى زيادة المقطع العرضي لاستطارة كومبتن في الطاقات المتوسطة والأعداد الذرية القليلة.

ب- تأثير المسافة بين المصدر المشع والكاشف :

يوضح الشكل (6) علاقة قيم عامل التراكم بقيم المسافة الفاصلة بين المصدر المشع والكاشف باستخدام مصدر الكوبالت المشع (Co-60) وكما هو ملاحظ في هذا الشكل أن عامل التراكم يقل بزيادة المسافة بين الكاشف والمصدر، وهذا السلوك متوافق مع النتائج التي توصل إليها C. Singh.

جدول (2): عامل التراكم لدرع الألمنيوم (Al) سمكه (10mm) باستخدام مصدر الكوبالت المشع (Co- 60) ومسدد قطر فتحته (5mm).

Distance D (mm)	I_{ob}	I_b	I_{og}	I_g	$(I/I_o)_b$	$(I/I_o)_g$	B
60	761.3	571.2	333.0	239.0	0.750296	0.7177	1.0454
80	496.7	224.2	270.5	119.0	0.451379	0.4399	1.0260
100	349.6	114.0	204.0	65.4	0.326087	0.3206	1.0172



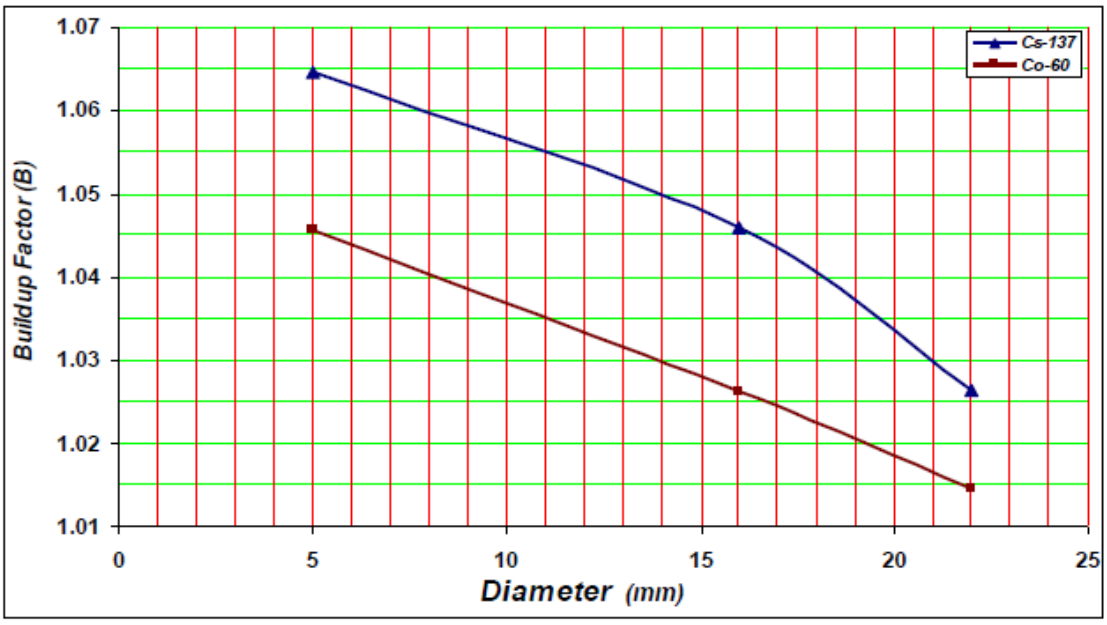
الشكل (6): يمثّل قيم عامل التراكم لأشعة غاما المنبعثة من مصدر الكوبالت المشع (Co-60) كدالة للمسافة بين المصدر والكاشف بوحدات (mm) باستخدام مسدد قطر فتحته (5mm).

ان تفسير سلوك عامل التراكم هذا هو انه بزيادة المسافة بين المصدر المشع والكاشف فإن نسبة معدل العد للحزمة العريضة أو الغير مسددة ستتناقص بشكل كبير مسببة نقصان نسبة الحزمة العريضة الى الحزمة الضيقة وبالتالي نقصان قيمة عامل التراكم.

جـ - تأثير قطر فتحة المسدد وطاقة المصدر المشع :

لدراسة تأثير قطر فتحة المسددات المستخدمة في الحصول على الترتيب الهندسي الجيد فقد تم أخذ مسددات بأقطار فتحات مختلفة (5, 16, 22)mm ، وتم استخدام مصدرين مشعين لإشعاعات غاما هما الكوبالت (Co-60) بمعدل طاقة (1.253MeV) والسيزيوم (Cs-137) بطاقة (0.662MeV) لدراسة تأثير طاقة المصدر أو طاقة أشعة غاما على قياس عامل التراكم.

يبيّن الشكل (7) علاقة عامل التراكم بقطر فتحة المسدد ولكل من المصدرين المشعين المستخدمين، ويوضّح الشكل أن عامل التراكم يقل بزيادة قطر فتحة المسدد وزيادة طاقة أشعة غاما، ويعود السبب في ذلك الى أن عامل التراكم يتناسب عكسياً مع معدل العد للحزمة الضيقة أو المسدد، وان معدل عد الحزمة الضيقة يعتمد على قطر فتحة المسدد؛ أي أن العلاقة بينهما طردية لذلك فإن عامل التراكم يقل بزيادة قطر هذه الفتحة. أما بالنسبة لطاقة أشعة غاما فإن مصدر الكوبالت ذو طاقة عالية مقارنة بمصدر السيزيوم لذا فإن تشتت الأشعة يكون أكبر من مصدر السيزيوم، ومن ثم فإن الأشعة الثانوية المتولّدة باستخدام مصدر الكوبالت أكبر منه للسيزيوم فيقل عامل التراكم بازدياد طاقة المصدر المشع.



الشكل (7): يمثل قيم عامل التراكم لأشعة غاما المنبعثة من المصدرين المشعين السيزيوم (Cs-137) والكوبالت (Co-60) كدالة لقطر فتحة المسدد ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف.

جدول (3): عامل التراكم لدرع الألمنيوم (Al) سمكه (10mm) باستخدام مصدري السيزيوم المشع (Cs-137) والكوبالت المشع (Co-60) ولمسافة (60mm) بين المصدر المشع والكاشف.

Source	Diameter d (mm)	I_{ob}	I_b	I_{og}	I_g	$(I/I_o)_b$	$(I/I_o)_g$	B
Cs-137	5	930.6	838.2	115.0	97.3	0.9007	0.8461	1.0646
	16	930.6	838.2	599.4	516.2	0.9007	0.8612	1.0459
	22	930.6	838.2	885.2	776.8	0.9007	0.8775	1.0264
Co-60	5	761.3	571.3	333.0	239.0	0.7504	0.7177	1.0456
	16	761.3	571.3	668.2	488.6	0.7504	0.7312	1.0263
	22	761.3	571.3	830.8	614.5	0.7504	0.7396	1.0146

٤:٣ الاستنتاجات: Conclusions

1- ازدياد عامل التراكم بزيادة سمك الدروع (Pb, Al) بسبب زيادة المقطع العرضي للاستطارة.

2- ازدياد عامل التراكم بنقصان العدد الذري وكثافة المادة، حيث لوحظ أن هناك زيادة واختلافاً ملحوظاً في سلوك عامل التراكم لدروع الألمنيوم عنه في دروع الرصاص عند استخدام مصدر الكوبالت المشع.

3- نقصان عامل التراكم بزيادة المسافة الفاصلة بين المصدر المشع والكاشف، حيث بيّنت النتائج أن عامل التراكم يزداد بزيادة المسافة باستخدام مصدر الكوبالت ودروع الألمنيوم.

4- نقصان عامل التراكم بزيادة طاقة أشعة غاما أو طاقة المصدر المشع، حيث أن دروع الألمنيوم أبدت تغيراً وتقدماً ملحوظاً في قيم عامل التراكم عند انخفاض طاقة الأشعة.

References المصادر

[١] الفخار، محمد القاسم واكرم فوزي عبد الكريم (٢٠٠٦م) ، "الفيزياء النووية والإشعاعية "، منشورات جامعة عمر المختار، الدار البيضاء.

[2] Al- Attiah ,K., " Gamma Ray Buildup Factor Measurement in Different Materials", (Ph .D .thesis), College of Science, University of Baghdad(1994).

[٣] ألبيتي (خالد)، "قياس وحساب عامل التراكم في الدروع المنفردة والمتعددة الطبقات"، (٢٠٠١م) كلية العلوم العلوم، جامعة بابل (رسالة ماجستير).

[4] Singh , C. ,(2004), Pure & Appl. Phys., Vol.42,P.475 .

[٥] أبو جاسم (علي) (٢٠٠٥)، "قياس عامل تراكم أشعة غاما في الماء كدرع منفرد الطبقة ودرع ذي طبقتين"، كلية العلوم، جامعة بابل (رسالة ماجستير).

[٦] الأحمد، خالد عبيد (١٩٩٣م)، "مقدمة في الصحية"، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل.

[٧] الدركزلي، شذى سلمان (١٩٩٧م) "الطريق النووي في نصف قرن ما له وما عليه"، الدار العربية للعلوم.

[٨] عزوز، عاصم عبد الكريم، " ترجمة "، (١٩٨٢م)، "مبادئ في الفيزياء النووية"، مطبعة جامعة الموصل.

[9] Eiscm 6ud M. (1977) "Environmental Radioactivity" 3rd ed. Academic press Inc., New York.

[١٠] المجالي، مصطفى محمد عبد المهدي، الوقاية الإشعاعية المبادئ والتطبيقات.

[١١] أحمد جدعان، مقدام محمد صالح (٢٠٠٢) تأثير استخدام الأسلحة الإشعاعية على الانسان وبيئته في مناطق منتخبة في جنوب العراق، المؤتمر العلمي عن استخدام أسلحة اليورانيوم المنضب على الانسان والبيئة في العراق.

[١٢] منيب عادل خليل، "الفيزياء النووية"، جامعة الموصل (١٩٩٦م).

[13] G.Knoll “Radiation Detection and Measurement” 3rd edition, John Wiley sons,Inc.,New York, 2000.

[14] N. Tsoulfanidis “Measurement and Detection of Radiation” 2ed edition,Braun Brumfield, Inc.,U.S.,1995.

[15] S Glasston and A. Scsonske "Nuclear Reactor Engineering" 3rd edition, Van Nostrand Reinholdm Inc., U.S (1981).

[16] J. C. Thomas, "Foundations of Nuclear Engineering" John Wiley and sons, Inc., 1978.

[17] Ibid.

[18] G.Knoll “Radiation Detection and Measurement” 3rd edition, John Wiley and sons,Inc.,New York, 2000.

[19] W.R. Dixon, (1952), Phys. Rev, 85, 498.

[20] G. Knoll “Radiation Detection and Measurement” 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc.,New York, 2000.

[٢١] السريع، أحمد بن محمد، محمد فاروق احمد " مبادئ الإشعاعات المؤينة والوقاية منها " جامعة الملك سعود ٢٠٠٧.

[٢٢] فريد مجيد محمد وعبد الهادي مردان غالي (٢٠٠٨) "قياس وحساب معامل التوهين الخطي والكتلي للأشعة السينية لمادة الخشب، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، مجلد (١٣)، عدد (٢).

[٢٣] خالد حسين هاتف العطية و حسين مع الله حسين العرباوي (٢٠١٢) ، "قياس عامل التراكم لأشعة غاما في مادة الحديد والألمنيوم كدروع متحركة باستخدام الكاشف الوميضي NaI (Tl) "، مجلة الكوفة -الفيزياء ، مجلد (٤) ، عدد (١).

[٢٤] الفخار، محمد القاسم واكرم فوزي عبد الكريم (٢٠٠٦م) ، "الفيزياء النووية والإشعاعية "، منشورات جامعة عمر المختار، الدار البيضاء.

[٢٥] خالد حسين هاتف العطية و حسين مع الله حسين العرباوي (٢٠١٢) ، "قياس عامل التراكم لأشعة غاما في مادة الحديد والألمنيوم كدروع متحركة باستخدام الكاشف الوميضي NaI (Tl) "، مجلة الكوفة -الفيزياء ، مجلد (٤) ، عدد (١).

[26] D.K. Trubey “A Survey of Empirical Functions used to Fit Gamma- Ray Buildup Factors” Report ORNL-RSIC-10,1966.

[27] L.Wag Lau “Elements of Nuclear Reactor Engineering” Gordon and Breach Science Publisher,1974.

[28] Ibid.

[29] A.Shimizu and H. Hirayama, Nucl. Sci. And Tech.,Vol. 40, (2003).

[30] J.C.Thomas “Foundations of Nuclear Engineering” ,John Wiley and Sons, Inc., 1978.

[٣١] محمد شحادة الدغمة و علي محمد جمعة، " الفيزياء النووية" الجزء الأول (الطبعة الأولى ١٩٩٧م)، جامعة الفاتح ، دولة الإمارات العربية المتحدة، مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع.

[٣٢] عزوز، عاصم عبد الكريم "ترجمة"، (١٩٨٢)، "مبادئ في الفيزياء النووية"، مطبعة جامعة الموصل.