

دراسة تأثير العدد الذري لمادة الدرع وقطر فتحة المسدد وطاقة المصدر المشع في قياس عامل تراكم أشعة كاما في بعض المواد

سليم حمزة طرير

جامعة القادسية \ كلية العلوم \ قسم الفيزياء

الخلاصة :

تم في هذا البحث قياس عامل تراكم أشعة كاما في المواد (البراص و النحاس و الحديد و الألمنيوم) باستعمال الكاشف ألوميضي NaI(Tl) والذي حجمه (3×3") والمصدرين المشعنين السيزيوم-137 و الكوبلت-60، استعملت المسافة بين المصدر المشع والكاشف (41cm) واستعمل مسدان قطر فتحتيهما (1cm , 2cm) , و درست أربعة عوامل تؤثر في قيمة عامل التراكم لأشعة كاما وهي سمك مادة الدرع , العدد الذري لمادة الدرع , وطاقة المصدر المشع وتأثير قطر فتحة المسدد.

و أثبتت هذه الدراسة إن عامل تراكم أشعة كاما في جميع المواد يزداد بزيادة سمك الدرع وزيادة العدد الذري ويقل بزيادة طاقة المصدر المشع وكذلك يقل بزيادة قطر فتحة المسدد وقد تم تفسير جميع النتائج.

Study of effective atomic number, hole diameter of the collimator and energy of radiation source on Buildup factor in material S. H. Terar

Abstract:

In this work , gamma ray buildup factors in the materials of (Brass , copper , iron and aluminum) had been measured using the scintillation detector 3"×3" NaI(Tl) and the radioactive sources Cs-137 & Co-60. The distance between the source and the detector was (41) cm . Two collimators were used with central holes of 1cm and 2cm diameters. Four factors affecting the buildup factor that had been studied and these are: The shielding thickness , The atomic number of the shield , The energy of the radioactive source and The hole diameter of the collimator.

This study proved that gamma rays buildup factor in all materials increased with the increasing of shielding thickness and with the increase of the atomic number , decreased with the increase of the energy of the radioactive source and increased the hole diameter of the collimator .

(1) المقدمة

تستعمل الحواجز (الدروع) Shields الواقية لتقليل جرعة التعرض الإشعاعي للأشخاص الذين يعملون في حقل الإشعاع ، ولأهمية عامل التراكم في كثير من التطبيقات مثل تصميم دروع المفاعلات النووية، وفي مجال الفيزياء الصحية، وكذلك في تدريب بعض المختبرات البحثية التي تتطلب مصادر مشعة ذات طاقات عالية و فعاليات إشعاعية عالية. ويكمن سر أهمية هذا العامل في دخوله كعامل تصحيح في الحسابات المتعلقة بالسمك الملائم لتدريب المصادر المشعة لأشعة كاما [1].

وهناك عدة دراسات حول عامل تراكم أشعة كاما في المواد المختلفة منها، عام 2004 قام كل من T.Onda & A.Shimizu Y.Sakm [2] باستعمال طريقة Invariant (Embedding III) لحساب عامل تراكم أشعة كاما لمصدر

نقطي لسمك يصل إلى 100 mfp و لمدى طاقي من 0.015 MeV إلى 15 MeV باستعمال دروع من (الماء و الكونكريت و الرصاص و الحديد). وكذلك في عام 2004 قام C.Singh و جماعته [3] بدراسة تأثير كل من سمك المادة الماصة وحجم المسدد في قياس عامل تراكم أشعة كاما الصادرة من مصدر السيزيوم-137 و الذي طاقته 662 keV للمواد البرسبكس والبكلايت، وقد أثبتت هذه الدراسة بأن حجم المسدد و سمك المادة الماصة تمنع وصول الاستطارات المتعددة إلى الكاشف.

(2) الجانب النظري

إن توهين أشعة كاما (الامتصاص و الاستطارة) داخل المادة يمكن دراسته من خلال قياس تغيير شدة الأشعة (المسددة بشكل جيد) مع تغير سمك المادة , ويحسب معدل

$$B = \frac{(I/I_0)_{w_0}}{(I/I_0)_w} \dots\dots\dots(5)$$

إذ إن :

القراءة المعايرة بدون وجود مسدد. $\left(\frac{I}{I_0}\right)_{w_0}$

القراءة المعايرة بوجود مسدد. $\left(\frac{I}{I_0}\right)_w$

يمكن حساب كل من التراوح الإحصائي القياسي و التراوح الإحصائي النسبي بالعلاقات الآتية: [8]

$$S.D = B . [(1/I(w)) + (1/I(w_0))]^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

S.D

$$F.S.D = \frac{S.D}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

S.D : التراوح الإحصائي.

F.S.D : التراوح الإحصائي النسبي.

B : عامل التراكم.

تتفاعل اشعة كاما مع المادة بثلاثة طرق رئيسة وهي الظاهرة الكهروضوئية واستطارة كومبتن وعملية النتاج الزوج , واهم هذه الطرق المتعلقة في موضوع عامل التراكم هي ظاهرة كومبتن.

ظاهرة كومبتن (استطارة كومبتن) Compton Effect ((Compton Scattering)

عندما يصطدم فوتون أشعة كاما مع أحد الإلكترونات الخارجية للذرة و الذي تكون طاقة ارتباطه بها قليلة (لذا يمكن أن يعد حراً") فإن ذلك سيؤدي إلى استطارة الفوتون الساقط بطاقة (E_γ^-) أقل من طاقة سقوطه (E_γ) كما يتحرر الإلكترون بطاقة حركية (E_e) و تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط و طاقة الفوتون المستطار وكما في المعادلات الآتية [6,4]:

$$E_\gamma^- = \frac{E_\gamma}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{\alpha}\right)(1 - \cos\theta)} \dots\dots\dots(8)$$

$$E_e = E_\gamma - E_\gamma^- \dots\dots\dots(9)$$

θ : تمثل زاوية الاستطارة.

$\alpha = m_0c^2$: وهي كمية ثابتة و تمثل الطاقة السكونية للإلكترون و تساوي (0.511 MeV) .

و يغلب هذا التفاعل لمدى واسع [6] من الطاقة بين (0.5-5 MeV) ، و تزداد احتمالية التفاعل خطياً بزيادة العدد الذري للمادة.

إن التوزيع الزاوي لزاوية الاحتمالية ، أو ما يسمى بمساحة مقطع الاستطارة التفاضلي، والذي يمكن حسابه من معادلة (كلاين - نيشينا) [5]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = Zr_0^2 \left(\frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right)^2 \left(\frac{1 + \cos^2\theta}{2} \right) \left(1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)(1 + \alpha(1 - \cos\theta))} \right) \dots\dots\dots(10)$$

اذ إن :

شدة أشعة كاما النافذة من حاجز أو درع ما من العلاقة الآتية:- [5,4]

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots(1)$$

أذ إن :

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

I_0 معدل شدة الأشعة الساقطة بدون وجود المادة الماصة.

μ معامل الامتصاص الكلي.

X سمك المادة الماصة.

إن هذه العلاقة الأسية تمنع وجود مدى محدد للأشعة في المادة, لذلك اتفق العلماء على مصطلح معدل المسار الحر (Mean Free Path) وهو معدل المسافة المقطوعة قبل الامتصاص و الذي يرمز له بالرمز (م.م.ج) أو (mfp). و يحسب معدل المسار الحر داخل المادة قبل امتصاصها للإشعاع بالعلاقة الآتية: [6,5]

$$\lambda = \frac{\int_0^\infty x e^{-\mu x} dx}{\int_0^\infty e^{-\mu x} dx} = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots(2)$$

يستخدم هذا المصطلح (معدل المسار الحر) كوحدة ملاءمة في دراسة انتقال الفوتونات و النيوترونات في المادة اذ تعرف بعض المتغيرات مثل عامل التراكم بدلالة (mfp) كمقياس للمسافة أي إن [5]:

$$x\mu = \frac{x}{\lambda} \dots\dots\dots(3)$$

يمكن تصنيف توهين حزمة أشعة كاما إلى صنفين رئيسيين هما:

(a) توهين الحزمة الضيقة

(Narrow beam attenuation)

عندما يصل جزء قليل من الفوتونات المستطارة و الثانوية إلى الكاشف بسبب تسديد حزمة أشعة كاما بمسدد يقلل إلى حد كبير تلك الفوتونات المستطارة و كما هو واضح في الشكل (1-أ)، حيث يسمى هذا الترتيب بالترتيب الهندسي الجيد Good Geometry ،أو يسمى بالحزمة الضيقة، و يستخدم هذا الترتيب في القياسات العملية لمعامل الامتصاص الخطي.

(b) توهين الحزمة العريضة

(Broad beam attenuation)

عندما يصل جزء كبير من الفوتونات المستطارة و الثانوية إلى الكاشف فإن الترتيب الهندسي يسمى بالحزمة العريضة أو الترتيب الهندسي السيئ Bad Geometry وكما هو موضح في الشكل (1-ب) و بسبب تأثير الإشعاعات الثانوية في الكاشف يصبح التوهين في حالة الحزمة العريضة أكبر مما هو عليه في حالة الحزمة الضيقة أو معامل التوهين النظري.

ومما تقدم نجد بأن المعادلة (1) تصح فقط في حالة الحزمة الضيقة لأشعة كاما, أما في حالة الحزمة العريضة فسوف يدخل عامل تصحيح في المعادلة يسمى هذا العامل عامل التراكم لأشعة كاما و كما في العلاقة الآتية [4]:

$$I_x = B.I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots(4)$$

إذ إن B تمثل عامل تراكم أشعة كاما في المادة و يحسب من العلاقة الآتية [7]:

هو الجزء الذي يواجه البلورة ويتكون من الكاثود الضوئي (Photocathode) و عدد من الداينودات (Dynode) إذ تكون النبضة الناتجة من أنود المضاعف الضوئي مؤشرا للإشعاع المؤين الذي تفاعل مع البلورة. [9] (3-2) **مجهز الفولتية العالية** (High Voltage Power Supply)

يقوم هذا المجهز بتجهيز الفولتية اللازمة لعمل المضاعف الضوئي وبمدى (0-2000) فولت ،حيث يتم تحديد منطقة الاستقرار النسبي للكاشف من خلال العلاقة البيانية بين معدل العد و الفولتية العالية ووجد إن فولتية تشغيل الكاشف تساوي (775) فولت.

(3-3) قاعدة المضاعف الضوئي و المضخم الابتدائي

تعمل قاعدة المضاعف الضوئي على تجزئة الفولتية التي يسلطها مجهز الفولتية العالية على داينودات المضاعف الضوئي بحيث يكون فرق الجهد بين أي داينودين ثابتا. أما المضخم الابتدائي يعمل بصورة أساسية على توفير ترابط امثل بين النبضات الخارجة من الكاشف والأجهزة الالكترونية الأخرى بالإضافة إلى ذلك يقوم بتشكيل النبضة وتقليل التشويش المصاحب لها، وموقعه اقرب ما يمكن للكاشف لتقليل توهين النبضة.

(3-4) المضخم الرئيسي

يقوم بتضخيم النبضات الواصلة من المضخم الابتدائي وكذلك بالتحكم بكل من التضخيم و زمن تشكيل النبضة . بما إن عامل التراكم في هذه الدراسة هو عامل التراكم العددي لذلك وجد عمليا إن أفضل معدل عد عندما تكون قيمة زمن تشكيل النبضة (1μsec) وقيمة الكسب (50) (أجريت هذه العملية قبل عملية قياس العامل المدروس) .

(3-5) المحلل وحيد القناة (Single Channel)

(Analyzer)

يقوم محلل وحيد القناة بتحويل النبضات الالكترونية الخطية الداخلة إليه من المضخم الرئيسي إلى نبضات منطقية. إذ استعمل النمط التكاملي كون عامل التراكم المقاس هو عددي [6] .

(3-6) العداد و المؤقت (Timer/Scalar)

يعمل على عرض العدد الكلي للنبضات،أما المؤقت يعمل على السيطرة على العداد لتحديد الفترة الزمنية المطلوبة للعد.وفي هذه الدراسة أخذ معدل العد لمدة دقيقة كاملة.

(3-7) المصادر المشعة

استخدم في البحث مصدران مشعان هما:

- (a) Cs-137: الذي يبعث فوتونات بطاقة (0.662MeV) وبفعالية إشعاعية مقدارها (132.29μCi)
(b) Co-60: الذي يبعث فوتونين بطاقتين هما (1.173 MeV , 1.333 MeV) وعادة يذكر معدل الطاقة للمصدر المشع (Co-60) الذي يساوي (1.253MeV) وفعاليتيه الإشعاعية (9.009 μCi).

المواد الأخرى المستعملة

تم في هذا البحث استعمال مواد أخرى غير المنظومة الالكترونية والمصادر المشعة هي قطع معدنية من مواد (البراص و النحاس و الحديد و الألمنيوم)، ومسددات والتي هي عبارة عن قطعة من الرصاص بأبعاد (5×10×20) تحتوي على فتحة صغيرة في مركزها ،وقد استعمل في هذا البحث مسددان الأول قطر فتحته (1cm)

$$\alpha = \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} \text{ و } r_0 \text{ يمثل قطر الإلكترون الكلاسيكي}$$

وتعطى العلاقة العملية للمقطع العرضي التفاضلي لاستطارة كومبتن كما يأتي: [6]

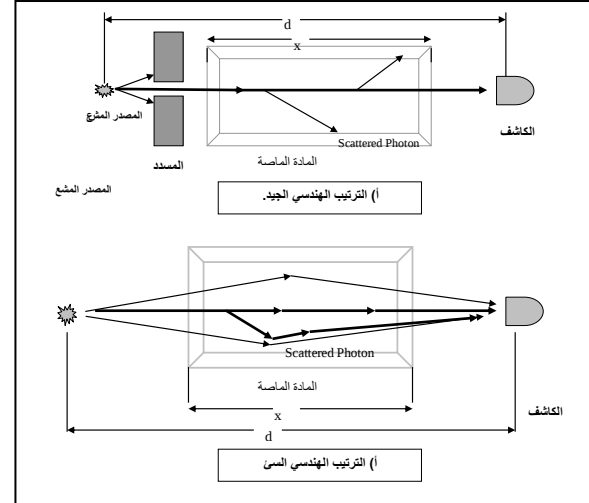
$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right] = \frac{\sum \gamma^-}{N.I.\Delta\Omega} \dots\dots\dots (11)$$

اذ أن: $\sum \gamma^-$: تمثل مجموع العد تحت القمة الضوئية مقسوما على الكفاءة الذاتية عند تلك الطاقة.

N : عدد الالكترونات في مادة الاستطارة (الهدف).

I : عدد الالكترونات لكل cm^3 ولكل ثانية على الهدف.

$\Delta\Omega$: الزاوية الصلدة المواجهة للكاشف.

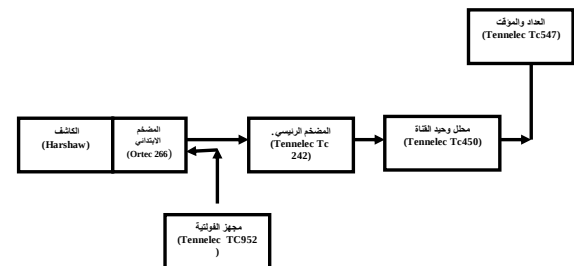


شكل (1) يوضح الترتيب الهندسي للتجارب [9] (أ) الترتيب الهندسي الجيد. (ب) الترتيب الهندسي السيئ .

(3) الجانب العملي:

استعملت منظومة العد والتحليل الالكترونية

الخاصة بالكاشف الوميضي NaI(Tl) والمحلل وحيد القناة الموضحة في الشكل (2) و تتكون من:



شكل (2) يمثل مخططا للمنظومة الالكترونية المستعملة.

(3-1) الكاشف ألوميضي (Scintillation)

Detector

تم استعمال الكاشف ألوميضي يوديد الصوديوم المنشط بالتاليوم NaI(Tl) بحجم "3×3" ، (7.5×7.5)سم ، ويتألف من جزأين أساسيين هما:

(a) المادة الوميضية (البلورة):

هي بلورة شفافة من الوماضات اللاعضوية Inorganic Scintillation التي لها القابلية على إنتاج فوتونات عند امتصاصها للأشعة النووية ،وتصنع من مادة يوديد الصوديوم وتطعم بنسبة قليلة من التاليوم لتنشيطها .

(b) أنبوب المضاعف الضوئي:

(Photomultiplier Tube)

ويمكن تفسير ذلك إن احتمالية استطرارة كومبتن تتناسب خطياً مع زيادة العدد الذري لمادة الهدف [6] وهذا يعني زيادة العدد الذري المادة تؤدي إلى زيادة استطرارة كومبتن وهذا يؤدي إلى زيادة عامل التراكم لأن عامل التراكم يعتمد على استطرارة كومبتن .

3. تأثير طاقة المصدر المشع:

تم في هذا البحث استعمال مصدرين مشعين بطاقتين مختلفتين الأول السيزيوم-173 والذي طاقة الفوتونات فيه (0.662 MeV) أما الثاني فهو الكوبلت-60 والذي معدل طاقة الفوتونات فيه (1.253 MeV) . درس تأثير طاقة المصدر المشع في قيمة عامل التراكم لأشعة كما في دروع مختلفة , ولغرض معرفة تأثير طاقة المصدر المشع لاحظ جميع الجداول من (2) إلى الجدول (8) ورسم عامل التراكم من الجداول (3) في الشكل (5) إذ يلاحظ من هذا الشكل أنه مهما اختلفت الخواص لكل جدول فإن قيمة عامل تراكم أشعة كما في المواد المستعملة في البحث تزداد كلما قلت طاقة المصدر المشع أي أن قيمة عامل التراكم لمصدر السيزيوم-137 أكبر من قيمة عامل التراكم لمصدر الكوبلت-60. ويمكن تفسير ذلك بأنه عند سقوط فوتون ذي طاقة واطئة (مثل طاقة مصدر السيزيوم-137) على المادة الماصة فإن معظم طاقة الفوتون تنتقل إلى طاقة الفوتون المستطار أما عند الطاقة الأعلى (مثل طاقة مصدر الكوبلت-60) فإن معظم طاقته سوف تنتقل إلى الإلكترون المستطار. أي هنالك علاقة عكسية بين طاقة الفوتون الساقط واستطرارة كومبتن عند مدى الطاقات الواطئة , وبما إن عامل التراكم يعتمد بشكل رئيس على عدد الفوتونات المستطرارة , وبذلك يقل عامل تراكم أشعة كما في جميع المواد المستعملة في البحث عند زيادة طاقة المصدر المشع. وهذا يتفق مع الدراسات السابقة [2, 6, 8, 10, 12, 13].

4. تأثير قطر فتحة المسدد:

تم في هذا البحث استعمال مسدين الأول قطره (1cm) والثاني قطره (2cm). إذ درس تأثير قطر فتحة المسدد على قيمة عامل تراكم أشعة كما في مختلف الدروع ولغرض معرفة تأثير قطر فتحة المسدد رسم عامل التراكم للمصدرين المشعين المستخدمين من الجدولين (2) و (3) في الشكلين (6) و (7), وقد أجريت ملائمة لجميع منحنيات الأشكال مع استخراج معادلات المنحنيات (وذلك باستخدام برنامج الإكسل في الحاسبة الالكترونية كما تم إجراء fitting لجميع الرسوم البيانية) ويمكن اعتبارها معادلة شبه تجريبية لمن يريد قيم عامل التراكم لأسماك غير الموجودة في هذه الدراسة .

وقد تبين من الأشكال البيانية والجدول إن قيم عامل تراكم أشعة كما باستعمال المسدد الأول أكبر من قيم عامل التراكم باستعمال المسدد الثاني, أي أنه يمكن الوصول إلى الاستنتاج الآتي هو إن قيمة عامل التراكم لأشعة كما تقل بزيادة قطر فتحة المسدد المستخدم. ويمكن تفسير ذلك إن عامل التراكم يتناسب عكسياً مع معدل العد للحزمة الضيقة (الحزمة المسددة) وإن معدل عد الحزمة الضيقة يعتمد على قطر فتحة المسدد أي إن العلاقة بينهما طردية لذلك فإن قيمة عامل التراكم تقل بزيادة قطر فتحة المسدد.

والثاني قطر فتحته (2cm), أما القطع المعدنية المستعملة كانت بشكل شرائح مربعة بمساحات ثابتة $10 \times 10 \text{ cm}^2$. ويوضح الجدول (1) القيم النظرية لمعاملات الامتصاص والأعداد الذرية لكل المواد.

جدول (1) يوضح القيم النظرية لمعاملات امتصاص أشعة كما لمصدرين السيزيوم-137 و الكوبلت-60 وللطاقات المستعملة في هذا البحث و الأعداد الذرية للمواد المستعملة في البحث

العدد الذري	معامل الامتصاص (cm^{-1})		الدروع
	Cs-137	Co-60	
13	0.201	0.149	Aluminum [5]
26	0.577	0.421	Iron[9]
29	0.650	0.472	Copper[5]
29.28[9]	0.615	0.446	Br[9]

(4) أنتاج والمناقشة:

تم في هذه الدراسة قياس عامل تراكم أشعة كما في عدة مواد مختلفة في العدد الذري وتركزت هذه الدراسة تأثير أربعة عوامل في قياس عامل تراكم أشعة كما في مختلف المواد وهذه العوامل هي :

1. تأثير سمك الدرع:

درس تأثير زيادة سمك المادة على قيمة عامل تراكم أشعة كما وجد أنه مهما اختلفت خواص كل تجربة فإن عامل تراكم أشعة كما يزداد كلما زاد السمك كما هو ملاحظ في جميع الجداول من الجدول (2) إلى الجدول (8) وكذلك في جميع الإشكال البيانية من (3) إلى (7). ويمكن تفسير ذلك أنه عند زيادة سمك المادة سوف تزداد عدد الإلكترونات المدارية والتي تتفاعل مع فوتونات أشعة كما الساقطة وبالتالي سوف تزداد الفوتونات المستطرارة وهذا يؤدي بالنتيجة إلى زيادة عامل التراكم لأن عامل التراكم يعتمد على عدد الفوتونات المستطرارة. وعند إجراء مقارنة بين النتائج العملية التي حصلنا عليها من هذه الدراسة ونتائج دراسات سابقة نجد نتائج هذه الدراسة تتفق مع الدراسات السابقة [2, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14].

2. تأثير نوع الدرع:

لمعرفة تأثير العدد الذري للمواد على قياس عامل التراكم رُسم عامل التراكم لطبقات البراص والنحاس والحديد والألمنيوم معاً في الشكلين (3) و (4) ولكلا المصدرين المشعين السيزيوم-137 و الكوبلت-60 على التوالي.

يمكن أن يستنتج من الأشكال إن عامل تراكم أشعة كما في الدروع يزداد كلما زاد العدد الذري للمادة , أي إن عامل التراكم لمادة البراص أكبر من عامل التراكم لمادة النحاس وهذا أكبر من عامل التراكم لمادة الحديد , وهذا أكبر من عامل التراكم لمادة الألمنيوم وذلك لأن العدد الذري للبراص أكبر من العدد الذري للنحاس , والعدد الذري للنحاس أكبر من الحديد والعدد الذري للحديد أكبر من العدد الذري للألمنيوم.

جدول (2) عامل التراكم للدرع (Br) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (1 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
				مصدر السيزيوم-137				
0	0	137766	259894	1	1	1	0.0033326	0.333263
0.15	0.09225	126054	246885	0.914986	0.949945	1.038207	0.0035665	0.346173
0.45	0.27675	116195	235873	0.843423	0.907574	1.07606	0.0036956	0.35841
0.75	0.46125	107093	222260	0.777354	0.855195	1.100135	0.0038851	0.37198
1.05	0.64575	100159	217221	0.727023	0.835806	1.149629	0.0040367	0.381939
1.35	0.83025	95171	209336	0.690816	0.805467	1.165964	0.0041548	0.390953
1.65	1.01475	82655	188266	0.599967	0.724395	1.207393	0.004535	0.417254
2	1.23	74886	175636	0.543574	0.675799	1.243251	0.0048738	0.436431
				مصدر الكوبلت-60				
0	0	75968	125623	1	1	1	0.004596	0.459606
0.15	0.0669	73006	123163	0.96101	0.980418	1.020195	0.004765	0.467085
0.45	0.2007	70753	121133	0.931353	0.964258	1.035331	0.004899	0.473171
0.75	0.3345	68019	118556	0.895364	0.943744	1.054035	0.00507	0.481005
1.05	0.4683	66267	117223	0.872301	0.933133	1.069737	0.005199	0.486017
1.35	0.6021	60840	111332	0.800864	0.886239	1.106604	0.005579	0.50417
1.65	0.7359	55555	105799	0.731295	0.842195	1.151648	0.006034	0.523947
2	0.892	50916	98209	0.67023	0.781776	1.16643	0.00637	0.5461

جدول (3) عامل التراكم للدرع (Cu) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (1 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
				مصدر السيزيوم-137				
0	0	137627	260043	1	1	1	0.0033333	0.33334
0.15	0.0975	128227	248291	0.931699	0.954807	1.024802	0.003545	0.343892
0.45	0.2925	111823	224176	0.812508	0.862073	1.061003	0.0038237	0.366108
0.75	0.4875	96817	200610	0.703474	0.771449	1.096628	0.0041359	0.391325
1.05	0.6825	91149	193701	0.66229	0.744881	1.124704	0.0042687	0.401667
1.35	0.8775	82189	177290	0.597187	0.681772	1.14164	0.0045866	0.42199
1.65	1.0725	73013	160278	0.530514	0.616352	1.161802	0.0049862	0.44649
2	1.3	66429	147940	0.482674	0.568906	1.178654	0.0053128	0.467046
				مصدر الكوبلت-60				
0	0	75968	125623	1	1	1	0.004596	0.459606
0.15	0.06608	72399	121963	0.95302	0.970865	1.018725	0.004779	0.469165
0.45	0.2124	69145	117280	0.910186	0.933587	1.02571	0.004918	0.479468
0.75	0.354	66442	114622	0.874605	0.912428	1.043246	0.005087	0.487597
1.05	0.4956	63615	112577	0.837392	0.89615	1.070167	0.005308	0.496008
1.35	0.6372	59711	109937	0.786002	0.875134	1.1134	0.00566	0.508365
1.65	0.76936	56628	106640	0.745419	0.848889	1.138808	0.005921	0.519966
2	0.944	53423	100836	0.70323	0.802687	1.141429	0.006108	0.535123

جدول (4) عامل التراكم للدرع (Fe) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (1 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0	0	137579	260043	1	1	1	0.003334	0.333378
0.15	0.08655	128045	247220	0.930702	0.950689	1.021476	0.00354	0.344307
0.45	0.25965	113069	225345	0.821848	0.866568	1.054414	0.00393	0.364442
0.75	0.43275	96276	196803	0.699787	0.756809	1.081485	0.004342	0.393294
1.05	0.60585	88079	185322	0.640207	0.712659	1.11317	0.004612	0.409261
1.35	0.77895	83054	177013	0.603682	0.680707	1.127591	0.004904	0.420591
1.65	0.95205	77252	166925	0.56151	0.641913	1.143191	0.00511	0.435148
2	1.154	68293	150772	0.496391	0.579796	1.168023	0.005468	0.461252
مصدر الكوبلت-60								
0	0	75968	125623	1	1	1	0.004596	0.459606
0.15	0.06315	72523	120967	0.954652	0.962937	1.008678	0.004737	0.469632
0.45	0.18945	69823	117664	0.919111	0.936644	1.019076	0.004868	0.47771
0.75	0.31575	66687	114179	0.87783	0.908902	1.035396	0.005046	0.487377
1.05	0.44205	63141	110589	0.831153	0.880324	1.059161	0.005283	0.498799
1.35	0.56835	59920	107960	0.788753	0.859397	1.089564	0.005551	0.509427
1.65	0.69465	57154	104589	0.752343	0.832563	1.106626	0.005756	0.520171
2	0.842	54408	101166	0.716196	0.805314	1.124432	0.005978	0.531643

جدول (5) عامل التراكم للدرع (Al) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (1 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
Cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0	0	137766	258371	1	1	1	0.003335231	0.333523
0.15	0.03015	128123	244230	0.930005	0.943968	1.015014	0.003556881	0.344957
0.45	0.09045	123038	238413	0.893094	0.921485	1.031789	0.003666259	0.351027
0.75	0.15075	118785	231582	0.862223	0.895082	1.03811	0.003771953	0.356885
1.05	0.21105	113031	223099	0.820456	0.862295	1.050994	0.003880056	0.365095
1.35	0.27135	107831	216055	0.782711	0.835069	1.066893	0.004052619	0.372857
1.65	0.33165	102580	210736	0.744596	0.814511	1.093897	0.004251576	0.380707
2	0.402	91375	190933	0.663262	0.737971	1.112638	0.004575859	0.402261
مصدر الكوبلت-60								
0	0	75968	125623	1	1	1	0.004596	0.459606
0.15	0.02235	73365	122095	0.965736	0.971916	1.0064	0.004701	0.467128
0.45	0.06705	71930	120345	0.946846	0.957985	1.011765	0.004768	0.471294
0.75	0.11175	70122	117713	0.923047	0.937034	1.015153	0.004843	0.477034
1.05	0.15645	67918	115718	0.894034	0.921153	1.030333	0.00498	0.483377
1.35	0.20115	66353	113918	0.873434	0.906824	1.038229	0.00507	0.488356
1.65	0.24585	64038	111865	0.84296	0.890482	1.056375	0.005235	0.495531
2	0.298	60955	110122	0.802377	0.876607	1.092512	0.005515	0.50484

جدول (6) عامل التراكم للدرع (Br) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (2 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
Cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0)	0	200540	259894	1	1	1	0.002972	0.297225
0.15	0.09225	187425	248885	0.934602	0.95764	1.024651	0.003134	0.305833
0.45	0.27675	177929	238773	0.887249	0.918732	1.035484	0.003243	0.313182
0.75	0.46125	169533	230260	0.845382	0.885977	1.048019	0.003354	0.320023
1.05	0.64575	160883	222221	0.802249	0.855045	1.06581	0.003489	0.327349
1.35	0.83025	141087	205336	0.703535	0.790076	1.123008	0.003883	0.345802
1.65	1.01475	122949	188266	0.61309	0.724395	1.181549	0.004332	0.366675
2	1.23	108820	168636	0.542635	0.648865	1.195766	0.00465	0.388837
مصدر الكوبلت-60								
0	0	100736	125623	1	1	1	0.004229	0.422933
0.15	0.0669	97039	123163	0.9633	0.980418	1.01777	0.004369	0.429237
0.45	0.2007	94753	121033	0.940607	0.963462	1.024298	0.004443	0.433774
0.75	0.3345	91713	118556	0.910429	0.943744	1.036593	0.004558	0.439755
1.05	0.4683	88929	117023	0.882793	0.931541	1.055221	0.004694	0.444862
1.35	0.6021	81607	111032	0.810108	0.883851	1.091029	0.005031	0.461089
1.65	0.7359	74597	105799	0.74052	0.842195	1.137302	0.005437	0.478093
2	0.892	68056	97509	0.675588	0.776203	1.148931	0.005739	0.499492

جدول (7) عامل التراكم للدرع (Cu) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (2 cm)

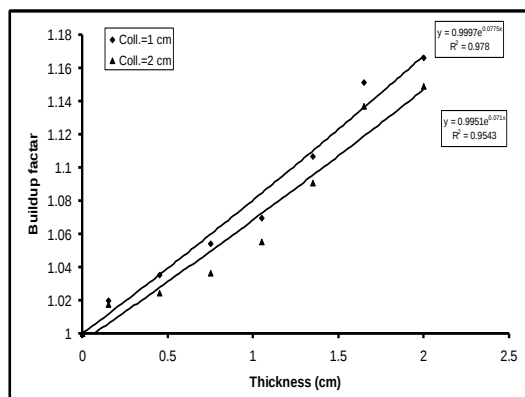
Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0	0	200540	260043	1	1	1	0.002972	0.297188
0.15	0.0975	187235	247291	0.933654	0.950962	1.018538	0.00312	0.306345
0.45	0.2925	168680	225371	0.841129	0.866668	1.030363	0.003317	0.321955
0.75	0.4875	150064	203176	0.7483	0.781317	1.044123	0.003554	0.340377
1.05	0.6825	140965	194987	0.702927	0.749826	1.066719	0.003729	0.349607
1.35	0.8775	127135	179610	0.633963	0.690693	1.089485	0.003993	0.366514
1.65	1.0725	118242	167901	0.589618	0.645666	1.095059	0.004157	0.379646
2	1.3	100744	147290	0.502364	0.566406	1.127483	0.00461	0.408846
مصدر الكوبلت-60								
0	0	99936	125623	1	1	1	0.004239	0.423812
0.15	0.06608	96166	121963	0.962276	0.970865	1.008926	0.004317	0.430021
0.45	0.2124	92062	118280	0.92121	0.941547	1.022077	0.004437	0.434504
0.75	0.354	87786	115622	0.878422	0.920389	1.047775	0.00453	0.439259
1.05	0.4956	84438	112077	0.844921	0.892169	1.055921	0.004688	0.445105
1.35	0.6372	80921	108337	0.809728	0.862398	1.065046	0.004806	0.449299
1.65	0.76936	77041	104640	0.770903	0.832968	1.08051	0.004981	0.455226
2	0.944	71988	98836	0.720341	0.786767	1.092214	0.005174	0.459649

جدول (8) عامل التراكم للدرع (Fe) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (2 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0	0	200540	260043	1	1	1	0.002972	0.297188
0.15	0.08655	185975	245920	0.927371	0.94569	1.019753	0.003134	0.307302
0.45	0.25965	164748	220219	0.821522	0.846856	1.030838	0.003358	0.325742
0.75	0.43275	141497	197109	0.70558	0.757986	1.074274	0.003743	0.348434
1.05	0.60585	130514	186343	0.650813	0.716585	1.101062	0.003974	0.36095
1.35	0.77895	114590	168513	0.571407	0.64802	1.134077	0.004342	0.382897
1.65	0.95205	107151	158925	0.534312	0.611149	1.143805	0.004521	0.395283
2	1.154	92210	138839	0.459809	0.533908	1.161153	0.004933	0.424822
مصدر الكوبلت-60								
0	0	99036	125623	1	1	1	0.004249	0.424943
0.15	0.06315	95311	121167	0.962387	0.964529	1.002225	0.004339	0.432955
0.45	0.18945	89984	116179	0.908599	0.924823	1.017856	0.00452	0.444078
0.75	0.31575	85953	113260	0.867897	0.901586	1.038818	0.004699	0.452366
1.05	0.44205	81935	111089	0.827325	0.884305	1.068872	0.004922	0.460506
1.35	0.56835	78981	108014	0.797498	0.859827	1.078155	0.005048	0.468181
1.65	0.69465	73859	105552	0.745779	0.840228	1.126645	0.005405	0.479722
2	0.842	69952	100461	0.706329	0.799702	1.132195	0.005575	0.492439

جدول (9) عامل التراكم للدرع (AL) ولمصدرين (Co-60,Cs-137) وبمسدد قطره (2 cm)

Thickness		I(C/min)		(I/I ₀)		Buildup Factor	S.D ±	F.S.D %
cm	Mfp	I (W)	I(W ₀)	W	W ₀			
مصدر السيزيوم-137								
0	0	200540	258727	1	1	1	0.002975	0.297517
0.15	0.03015	192040	251564	0.957614	0.972314	1.015351	0.003077	0.303024
0.45	0.09045	185243	244230	0.923721	0.943968	1.021919	0.003149	0.308104
0.75	0.15075	178096	237413	0.888082	0.91762	1.03326	0.003239	0.313481
1.05	0.21105	169981	230012	0.847616	0.889014	1.04884	0.003355	0.319853
1.35	0.27135	164745	223599	0.821507	0.864228	1.052003	0.003416	0.324689
1.65	0.33165	156642	217455	0.781101	0.840481	1.07602	0.003566	0.331401
2	0.402	148876	210736	0.742376	0.814511	1.097168	0.003715	0.33856
مصدر الكوبلت-60								
0	0	99987	125623	1	1	1	0.004238	0.423812
0.15	0.02235	97074	122095	0.970866	0.971916	1.001081	0.004305	0.430021
0.45	0.06705	94732	120145	0.947443	0.956393	1.009447	0.004386	0.434504
0.75	0.11175	92596	117713	0.92608	0.937034	1.011828	0.004445	0.439259
1.05	0.15645	89524	115718	0.895356	0.921153	1.028812	0.004579	0.445105
1.35	0.20115	87652	113918	0.876634	0.906824	1.034439	0.004648	0.449299
1.65	0.24585	84863	111865	0.84874	0.890482	1.049181	0.004776	0.455226
2	0.298	83009	110122	0.830198	0.876607	1.055901	0.004853	0.459649

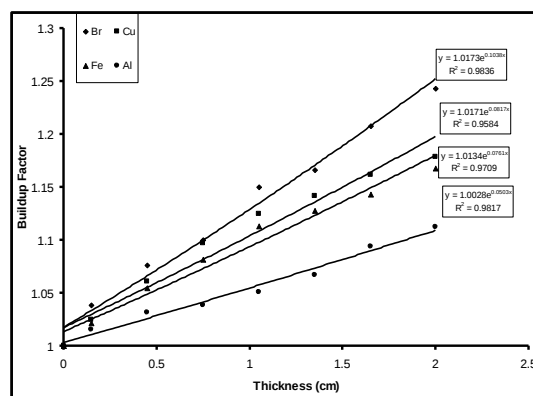


شكل (7) يمثل قيم عامل التراكم لأشعة كاما لمادة النحاس باستعمال مصدر (Co^{60}) وكلا المسددين اللذين قطراهما (1cm, 2cm).

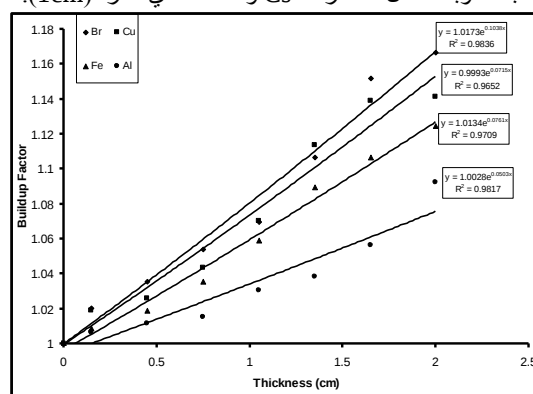
(5) المصادر

- ماير هوف , ترجمة د. عاصم عبد الكريم عزوز , "مبادئ [1] الفيزياء النووية" جامعة الموصل, (1982)
[2] A. Shimizu, T. Onda, Y. Sakm, Nucl. Sci. Teach., Vol. 41, No. 4, P. 413 (2004).
[3] C. Singh, Pure & Appl. Phys., Vol. 42, P. 475, (2004).
[4] G. Knoll, "Radiation Detection and Measurement" John Wiley and Sons. New York, Third Edition, (2010).
[5] N. Tsoulfanidis "Measurement and Detection Radiation" MC Graw-Hill, New York, (1983).
[6] K. Hattif, "Gamma Ray Buildup Factor Measurement in Different Materials" College of Science, University of Baghdad, (1994) (Ph.D. thesis).
[7] عبد الله د. علي ، د. شذى الدركزلي، د. مازن مانويل، "الفيزياء النووية التجريبية" جامعة بغداد (1990)
[8] خالد ألبيتي، "قياس وحساب عامل التراكم في الدروع المنفردة"، كلية العلوم، جامعة (2001) والمتعددة الطبقات" بابل (رسالة ماجستير).
[9] الدركزلي د. شذى، "الكشف عن الأشعة النووية" جامعة بغداد (1987)

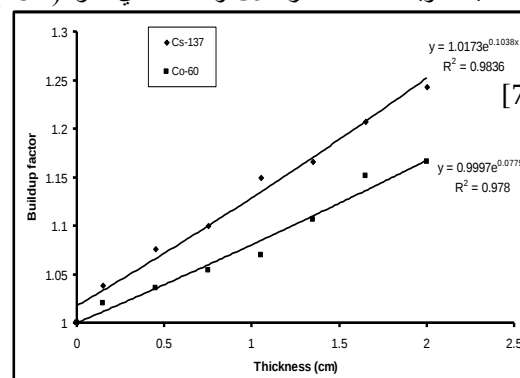
- [10] S. H. Jiang, Nucl. Sci. Eng, Vol. 75, P. 16, (1980).
[11] H. Hirayama, Nucl. Technol., Vol. 77, No. 1, P. 60, (1987).
[12] H. Hirayama, Nucl. Sci. Eng, Vol. 32, P. 1207, (1995).
[13] A. Shimizu, Nucl. Sci. Teach., Vol. 39, No. 5, P. 477, (2002).
[14] A. Shimizu & H. Hirayama, Nucl. Sci. Teach., Vol. 40, No. 4, P. 192 (2003).



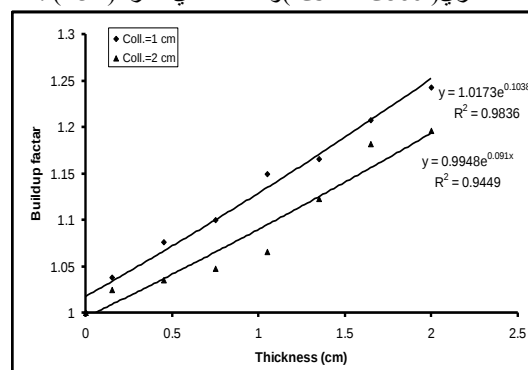
شكل (3) يمثل قيم عامل التراكم لأشعة كاما لجميع المواد المستعملة في البحث وباستعمال مصدر Cs^{137} والمسدد الذي قطره (1cm).



شكل (4) يمثل قيم عامل التراكم لأشعة كاما لجميع المواد المستعملة في البحث وباستعمال مصدر Co^{60} والمسدد الذي قطره (1cm).



شكل (5) يمثل قيم عامل التراكم لأشعة كاما لمادة النحاس وباستعمال مصدر $(Cs^{137} - Co60)$ والمسدد الذي قطره (1cm).



شكل (6) يمثل قيم عامل التراكم لأشعة كاما لجميع المواد المستعملة في البحث وباستعمال مصدر (Cs^{137}) وكلا المسددين اللذين قطراهما (1cm, 2cm).