



دراسة معاملات التدرّيع الإشعاعي لأشعة جاما لزجاج السيليكات المحتوي على أكسيد الرصاص وأكسيد البيزموث عالي التركيز

* وسام أحمد محمد زيارة¹، امحمد جمعة امحمد امحمد²، عبد القادر على أبوبكر عمر³، سامح أحمد سعيد نجم⁴
طارق محمد أحمد فايز⁵

¹قسم الفيزياء - كلية التربية - جامعة فزان

²قسم الكيمياء - كلية التربية - جامعة فزان

³قسم هندسة الطاقات المتجددة - كلية الهندسة - جامعة سبها

⁴قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة بنغازي

⁵قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة سبها

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى مقارنة بارامترات التوهين (معامل التوهين الكتلي MAC، طبقة نصف القيمة HVL، العدد الذري الفعال Z_{eff} والكثافة الإلكترونية الفعالة N_{eff})؛ لعينتين من زجاج السيلكون المحتوي على أكسدي الرصاص والبيزموث ذات التركيب $70\text{PbO} - 20\text{SiO}_2 - 70\text{Bi}_2\text{O}_3 - 20\text{SiO}_2 - 7\text{Al}_2\text{O}_3 - 3\text{Na}_2\text{SO}_4$ للعينة الأولى، والتركيب $70\text{PbO} - 20\text{SiO}_2 - 7\text{Al}_2\text{O}_3 - 3\text{Na}_2\text{SO}_4$ للعينة الثانية.

باستخدام برامج المحاكاة Phy-X/ PSD و X-COM في مدى من الطاقات المختلفة (2.580×10^{-3} to 3 MeV) التي تحوي قيم طاقة أشعة جاما المنبعثة من عنصري السيزيوم 137 والكوبالت 60؛ لمعرفة تأثير استبدال أكسيد البيزموث بأكسيد الرصاص على معاملات التوهين. أهمية اختيار هذه العناصر المشعة يرجع؛ لاستخداماتهم الواسعة في المجالات الطبية والصناعية بالإضافة إلى مجالات البحث العلمي.

أظهرت النتائج أن العينة (1) تتمتع بقيم معامل توهين كتلي أفضل عند الطاقات (0.284: 0.826 MeV) من العينة (2)، وهذا يرجع إلى قيمة العدد الذري الفعال العالية للعينة (1) عن العينة (2)، أما عند الطاقات (1.17 & 1.33 MeV) كانت النتائج متقاربة جداً من بعضها، ويتساوى معامل التوهين الكتلي للعينتين عند القيمة 2.51 MeV، ولكن تبقى الأفضل للعينة (1) بطبقة نصف القيمة أقل عند جميع الطاقات عن العينة (2). بينت نتائج محاكاة X-COM أن تفاعل كومبتون كان له الدور الأكبر في عملية التوهين عند الطاقات المدروسة، بينما لم تساهم تفاعلات التأثير الكهروضوئي والإنتاج الزوجي بفاعلية كبيرة في عملية التوهين.

الكلمات المفتاحية: أكسيد البيزموث، أكسيد الرصاص، التدرّيع الإشعاعي، العدد الذري الفعال، الكثافة الإلكترونية، معامل التوهين الكتلي.



Study of radiation shielding coefficients for gamma rays for silicate glass containing lead oxide bismuth oxide and high concentration

*Wesam Ahmed Mohamed Zeyara¹ and Emhemmad Jumha Emhemmad Emhemmad² and Abdelkhalder Ali Abo baker Omar³ and Sameh Ahmed Said Negem⁴ and Tarek Mohamed Fayez Ahmed⁵

¹ Department of physics - Faculty of Education- University of Fezzan.

² Department of chemistry - Faculty of Education- University of Fezzan.

³ Department of Renewable Energy - Faculty of Engineering - Sebha University

⁴ Department of Physics -Faculty of Science - University of Benghazi

⁵Department of Physics -Faculty of Science - Sebha University

ABSTRACT

In this paper, the attenuation parameters (mass attenuation coefficient MAC, half-value layer HVL, effective atomic number Z_{eff} and effective electronic density N_{eff}) were compared for two samples of silicon glass, which are composed of lead oxide and bismuth oxide with the composition: Sample1: $70\text{Bi}_2\text{O}_3-20\text{SiO}_2-7\text{Al}_2\text{O}_3-3\text{Na}_2\text{SO}_4$, Sample2: $70\text{PbO}-20\text{SiO}_2-7\text{Al}_2\text{O}_3-3\text{Na}_2\text{SO}_4$.

Using the simulation programs Phy-X / PSD and X-COM at a range of energies (2.580E-3 to 3 MeV), which contains the values of the energy emitted by the elements cesium 137 and cobalt 60. To know the effect of replacing bismuth oxide with lead oxide on the attenuation coefficients. The importance of choosing these radioactive elements is due to their wide uses in the medical and industrial fields, in addition to scientific research.

The results showed that, sample (1) has better mass attenuation coefficient values at energies (0.284: 0.826 MeV) than sample (2), and this is due to the higher effective atomic number value for sample (1) than sample (2), while at energies (1.17, 1.33 MeV), the results were very close to each other, and the mass attenuation coefficient for the two samples is equal at 2.51 MeV. However, the preference for sample (1) with a half-value layer remains lower at all energies than sample (2). The X-COM results showed that the Compton interaction had the largest role in the attenuation process at the energies studied, while the photoelectric effect and pair production interactions did not contribute significantly to the attenuation process.



Keywords: Bismuth oxide, lead oxide, radiation shielding, effective atomic number, electronic density, mass attenuation coefficient.

المقدمة:

يُوصف التدرّج الإشعاعي لأشعة جاما بأنه عبارة عن عملية تغطية معدنية مصممة للحماية من تأثير أشعة جاما المؤينة ذات قوة الاختراق العالية، ويستخدم عادةً هذا النظام في الأماكن التي يكثر فيها انبعاث أشعة جاما مثل مستشفيات الأورام ومحطات الطاقة النووية ومراكز البحوث العلمية.

تتطلب التكنولوجيا الحديثة مواد تدرّج إشعاعي متطورة وفعّالة في حماية الأفراد من مخاطر التعرض للإشعاع، ومن شأن ذلك أن يساهم في تعزيز السلامة العامة في الصناعات النووية والتكنولوجية، وتحسين صحة الأفراد ومنع حدوث الأمراض الخطرة المرتبطة بالإشعاع. وعليه فإنه يعتمد تصميمات الدروع الإشعاعية على طاقات أشعة جاما التي يمكن أن تدمر خلايا الجسم؛ لذا هناك عدة معايير يجب مراعاتها عند تصميم الدروع الإشعاعية مثل: نوع المادة المستخدمة، وخصائصها، وسمك الدرع، ودرجة التعرض للإشعاع، ونوع المصدر المشع.

حديثاً جذبت أنظمة الزجاج القائمة على أكاسيد المعادن الثقيلة، مثل أكسيد الرصاص وأكسيد الباريوم وأكسيد البزموت اهتماماً كبيراً للمجتمع العلمي؛ لاستخدامها كبديل الخرسانة والحديد والتيتانيوم والبلاديوم والمعادن الأخرى [1-8]. حيث تعتمد بنية الزجاج الأكسيدي على طبيعة ونسبة الأكاسيد المكونة له، إذ ينقسم باعتبار بنيته إلى قسمين، زجاج بسيط وزجاج مركب، يتكون الزجاج البسيط من أكسيد واحد فقط، أما الزجاج المركب فيتكون عادة من أكسيدين فأكثر وينسب متفاوتة. وصنفت الأكاسيد من حيث وظائفها في الشبكة الزجاجية إلى ثلاثة أصناف هي:

1-أكاسيد مشكلة للشبكة الزجاجية مثل SiO_2 , GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , As_2O_5 , As_2O_3 , V_2O_5 ,

وهي تصلح لتكوين الزجاج بمفردها وتشكل البنية القاعدية الأساسية للشبكة الزجاجية للزجاج المركب. وتتميز هذه الأكاسيد بطاقة ربط كبيرة ودرجة حرارة انصهار مرتفعة تصل إلى 1700°C [9].

2-أكاسيد مغيّرة للشبكة الزجاجية مثل Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO ، وتضاف إلى التركيبة الأولية للزجاج؛ لإحداث تغيير في بنية شبكته الزجاجية، بغية الحصول على خصائص فيزيائية وكيميائية جيدة .

3-أكاسيد وسطية مثل Al_2O_3 , PbO , ZnO , CdO , TiO_2 ، ويمكن أن تكون مشكلة أو مغيّرة للتركيب الزجاجي حسب الزجاج الذي تضاف إليه ونسبها المضافة. ويُعدّ أكسيد الألومنيوم Al_2O_3 وأكسيد الزنك ZnO هما الأكثر استعمالاً، حيث تعمل هذه الأكاسيد على استقرار الشبكة الزجاجية، وتمنحها خاصية عدم الذوبان [9]. هذا ويجب أن يؤمن التركيب الزجاجي شروط



عديدة سواء من حيث سهولة انصهاره وملائمته لطرق التشكيل ولزوجته، أو من حيث تكاليفه الصناعية، وتتبدل هذه الشروط بحسب طريقة الصنع، ونسب المواد المكونة له، ونوع المنتج والأغراض التي يستعمل فيها.

دراسة عن مقارنة معامل التوهين الكتلي والعدد الذري الفعال قام بها كل من (J. Kaewkhao and P. Limsuwan 2010) لزجاج الفوسفات المحتوي على أكاسيد الرصاص والبيزموث والباريوم عند طاقة 662 KeV، وجد أن معاملات التوهين الكلي تزداد في العينات المحتوية على أكسيد البيزموث والرصاص عن أكسيد الباريوم بسبب زيادة معامل التأثير الكهروضوئي عند هذه الطاقة [6].

دراسة أخرى قام بها (M. I. Sayyed et al., 2016) عن خصائص التدرج لأشعة جاما لنظام زجاج أكسيد التيلوريوم الرباعي $\text{TeO}_2 \text{ B}_2\text{O}_3 \text{ Bi}_2\text{O}_3 \text{ ZnO}$ ، وجد أن قيم معامل التوهين الكتلي والعدد الذري الفعال، تزداد مع زيادة نسبة أكسيد البيزموث في التركيب مقارنة بزجاج الحماية التجاري [7].

ودراسة (N. Chanthima and J. Kaewkhao 2013) عن حساب معاملات التدرج الإشعاعي لزجاج البوروسيليكات المحتوي على أكسيد البيزموث ذو الصيغة $(50-x) \text{ SiO}_2 : 15\text{B}_2\text{O}_3 : 2\text{Al}_2\text{O}_3 : 10\text{CaO} : 23\text{Na}_2\text{O}$ حيث $x \text{ Bi}_2\text{O}_3$ (X = 0, 5, 10, 15, 20 mol %) باستخدام برنامج WinXCom. وجد أن خصائص بارامترات التدرج الإشعاعي للأنظمة الزجاجية ذات تركيبات البيزموث المختلفة تعتمد على مناطق الطاقة [10].

دراسة أخرى مهمة قام بها (M. K. Halimah et al., 2019) عن دور أكسيد البيزموث على خواص تدرج جاما لزجاج البورتيلوريت. بيّنت أن إضافة أكسيد البيزموث لزجاج البورتيلوريت يزيد من كثافة الزجاج إلى 97% ويرجع ذلك إلى الوزن الجزيئي العالي لأكسيد البيزموث (456 g/mol) وزيادة عدد ذرات الأكسجين غير الجسري (non-bridging oxygen) كما يعمل أكسيد البيزموث على تغيير تركيب بنية الشبكة الزجاجية فيعمل على إعادة الترتيب الذري وتكوين الأكسجين غير الجسري، كما بيّنت الدراسة أن إضافة أكسيد البيزموث تعطي حماية أفضل من خرسانة التدرج القياسية وبعض أنواع زجاج التدرج التجاري [11].

مشكلة وأهمية الدراسة:

يتمتع الزجاج الرصاصي التقليدي بتاريخ طويل من الاستخدام كمادة تدرج أساسية بسبب خصائصه الفيزيائية الفائقة في درجات الحرارة المنخفضة، بالإضافة إلى ثباته الكيميائي الممتاز، ولكن زجاج الرصاص يشكل خطر على جسم الإنسان والبيئة المحيطة بسبب الكمية الكبيرة من أكسيد الرصاص التي يحتوي عليها نتيجة؛ لذلك أصبح الزجاج الخالي من الرصاص موضوعاً لمزيد من الأبحاث. وذكرت العديد من الدراسات السابقة، إن استبدال البيزموث بالرصاص يعطي صفات خواص فيزيائية وكيميائية جيدة، لا تقل أهمية عن عنصر الرصاص.

الهدف من الدراسة:

تهدف إلى مقارنة بارامترات التدرج الأشعاعي الناتجة عن تعرض زجاج السيليكات المحتوي على أكسيد الرصاص، وأكسيد البيزموث لطاقت فوتونات جاما المنبعثة من عنصري الكوبالت والسييزيوم. باستخدام برامج المحاكاة X-Phy و X-COM لمعرفة امكانية استبدال أكسيد البيزموث في عملية التوهين الفوتوني بأكسيد الرصاص.

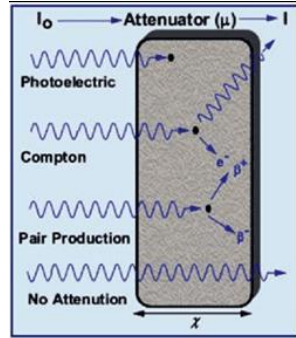
النظرية:

تختلف طرق انتقال الطاقة من إشعاعات جاما إلى المادة بشكل كبير عن انتقال الطاقة من الجسيمات المشحونة إلى المادة . فعندما يسقط فوتون جاما على المادة فإنه يمكن أن يفقد طاقته ويمنحها إلى المادة عن طريق إحدى العمليات الرئيسية الثلاثة التالية والموضحة بالشكل (1):

أ-التأثير الكهروضوئي: وخلالها يفقد فوتون جاما طاقته بالكامل، ويمنحها لأحد الألكترونات الشديدة الارتباط بنواة الذرة، وعادة ما تكون لإحد الكترونات المدارات الداخلية للذرة وبالتالي يفنى الفوتون.

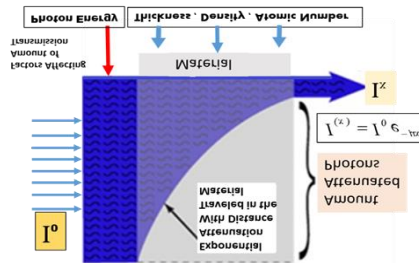
ب-تأثير كومبتون: وخلالها يفقد فوتون جاما جزء من طاقته ويمنحها لإحد الألكترونات الحرة الضعيفة الارتباط بالذرة ، وعادة ما يكون أحد الكترونات المدارات الخارجية وبالتالي ينحرف هذا الفوتون عن مساره

ج-إنتاج الأزواج: ويمكن أن يحدث عندما يقترب الفوتون إقتراباً كبيراً من نواة الذرة ويتفاعل مع المجال الكهربائي الشديد لها. وخلال هذا التفاعل يفقد فوتون جاما طاقته بالكامل منتجاً زوجاً إلكترونياً - بوزيترونياً ، وبالتالي يفنى الفوتون. ولا يحدث تفاعل مع مجال الذرة الكهربائي إلا إذا كانت طاقة الفوتون أعلى من 1.022 MeV وهي الطاقة اللازمة؛ لإنتاج كتلتي السكون لكل من الألكترون والبوزيترون.



الشكل (1) طرق تفاعل الفوتونات مع المادة

فعند سقوط حزمة متوازية من أشعة جاما على المادة الممتصة كما موضح في الشكل (2)، يخرج الفوتون الذي يتفاعل مع ذرات المادة بأي من العمليات الثلاث السابقة معتمداً على طاقة سقوطه، وكثافة المادة الماصة، وطبقة السمك النصفية، والعدد الذري الفعال.



الشكل (2) العوامل المؤثرة على انتقال الفوتون وتوهينه داخل المادة

عملية التوهين خلال المادة تخضع لقانون لامبرت الذي يكتب بالشكل:

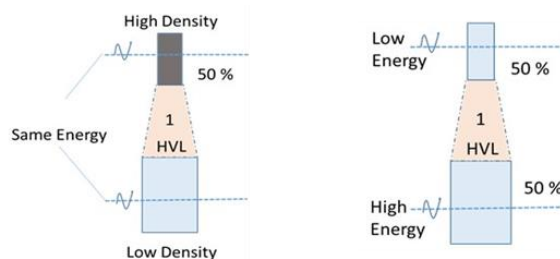
$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

I_0 شدة الأشعة الساقطة على المادة. I شدة الأشعة التي اخترقت سمكا قدره x من المادة الماصة، μ يسمى بمعامل التوهين الخطي، وهو احتمال أن يتفاعل فوتون واحد ساقط بطاقة معينة مع أي من الذرات الموجودة في وحدة الحجم من المادة بأي من العمليات الثلاثة، وهو يعتمد على طاقة أشعة جاما وعلى نوع المادة. هو يكون مساوي لمجموع مساهمات معاملات الامتصاص الناتجة عن العمليات الثلاثة المذكورة سابقاً عند طاقة معينة (E) ويكتب:

$$\mu(E) = \mu_{ph} + \mu_C + \mu_P \quad (2)$$

فإذا كانت المادة مكونة من عدة مركبات تختلف في الكثافة، يتم استبدال معامل التوهين الخطي بمعامل آخر أشمل يُعرف بمعامل التوهين الكتلي (MAC)، وهو مقياس لإحتمال التفاعل الذي يحدث بين الفوتونات الساقطة ووحدة الكتلة لكل وحدة مساحة، ويمكن الحصول عليه بقسمة معامل التوهين الخطي على الكثافة.

من البارامترات المهمة أيضاً في عملية التوهين الإشعاعي التي تعتمد على كثافة المادة وطاقة الأشعاع هي طبقة نصف القيمة (HVL)، وهي تعبر عن سماكة الطبقة التي توهن عدد اشعاعات جاما إلى نصف قيمتها الأصلية. وكلما قلت قيمة طبقة السمك النصفية تكون خصائص الحماية أفضل؛ لأن هذا يعني المزيد من تفاعل فوتونات جاما مع المادة. والشكل (3) يوضح مفهوم طبقة نصف القيمة، وعلاقتها بالكثافة وطاقة الاشعاع.



الشكل (3) توضح ارتباط طبقة نصف القيمة بالطاقة وكثافة المادة

ومن أحد أهم البارامترات التي تميز المواد التي تصمم منها الدروع الإشعاعية هو العدد الذري الفعال (Z_{eff}). فالقيمة العالية لهذا العدد تعني قدرة أكبر للمادة الماصة على توهين أشعة جاما المارة خلالها. وهو يشير لعدد الإلكترونات التي تشارك في التفاعلات الكيميائية لذرة معينة، ويتناسب طردياً مع الكثافة الإلكترونية الفعالة التي تعبر عن عدد الإلكترونات لكل وحدة كتلة من مادة التفاعل، فالكثافة الإلكترونية العالية تعطي فرصة أفضل لتفاعل الفوتون خلال المادة. وعليه يتم تنفيذ التدريع بأشعة جاما بشكل أكثر فعالية بواسطة المواد ذات العدد الكتلي الذري العالي والكثافة العالية [5]. لذلك فان تقييم معاملات التفاعل المختلفة لأشعة جاما مثل معامل التوهين الكتلي (μ/ρ)، والعدد الذري الفعال (Z_{eff})، وكثافة الإلكترون (N_{eff})، وطبقة نصف القيمة (HVL)، أمر بالغ الأهمية لوصف مدى جودة المادة في الحماية من أشعة غاما [12-14].



2. المواد وطرق العمل:

تمَّ اختيار عدة أكاسيد منها المشكلة كأكسيد السليكون، ومنها الوسطية كأكاسيد الألومنيوم والأكاسيد الثقيلة (أكسيد البزموت والرصاص)، بالإضافة إلى مركب كبريتات الصوديوم. **أكسيد السيلكون SiO₂**: وهو من أهم المواد التي تدخل في صناعة الزجاج ينصهر عند درجة حرارة عالية (1720 - 1780°C) إذا كان نقياً، أما عند وجوده مع بعض الأكاسيد لا سيما الصاهرة منها فإنه ينصهر معها في درجة أقل، كما يعمل على زيادة لزوجة الزجاج ومقاومته الميكانيكية، وخض معامل تمدده الطولي [9]. **أكسيد الألمنيوم Al₂O₃**: تفضل إضافته بنسبة ضئيلة في التركيب المستخدم؛ نظراً للدور الذي يلعبه في زيادة لزوجة الزجاج وفي رفع المقاومة الكيميائية، بالإضافة إلى أنه يقلل من احتمال تشقق الزجاج أو تبلوره بعد خروجه من فرن الصهر [9].

كبريتات الصوديوم Na₂SO₄: تعمل على خفض درجة الانصهار لمكونات التركيب كما تساعد في تحسين خواص الزجاج بشكل عام، بالإضافة إلى ذلك فهي تعمل على إزالة الرغوة أو الزبد الذي قد يطفو على سطح الزجاج المصهور [9]. **أكسيد الرصاص PbO₂**: هو العنصر الأهم عند دراسة خواص التدرج الإشعاعي جاما؛ نظراً لكثافته العالية. ينتج عن وجود أكسيد الرصاص في التركيب سيليكات الرصاص التي لها درجة انصهار منخفضة كما تعمل على تحسين اللزوجة مما يساعد على سهولة التشغيل وزيادة الكثافة، هذا ويجب الانتباه عند استعمال هذا الأكسيد إلى التسممات التي قد يسببها واتخاذ كافة الاحتياطات لمنع حدوثها. حيث اجمعت الدراسات إلى وجوب البحث عن بديل مناسب يعطي معاملات حماية أفضل وليس له أي تأثيرات سمية [1-3, 7, 10].

أكسيد البزموت (Bi₂O₃) يمتلك أربعة أشكال بلورية متعددة، وله بنية بلورية أحادية الميل محددة (α -Bi₂O₃)، في درجة حرارة الغرفة يتحول هذا إلى التركيب البلوري المكعب من نوع الفلوريت (δ -Bi₂O₃) عند تسخينه فوق 727 C⁰، ويبقى هيكله التركيبي حتى الوصول إلى نقطة الانصهار 824 C⁰. وأكدت الدراسات السابقة [1-3, 7, 10] أن أكسيد البزموت هو البديل الأفضل لأكسيد الرصاص عند استخدامه في التدرج الإشعاعي؛ لتوفير الحماية الأفضل في مواقع المفاعلات والمختبرات النووية، كما إنه عديم السمية.

تجهيز العينة:

تمَّ اختيار المركبات وخلطها جيداً في البواتق بنسب وزنية متساوية للعينتين لتجهيزها لعملية الصهر، وضعت بعد ذلك في الفرن عند 300 C⁰ لمدة ساعة ونصف، ثم رفعت الحرارة تدريجياً الي 1000°C لمدة ساعتين ونصف. صبت العينات في بواتق مسخنة عند 200C⁰ وتركت لتبرد عند درجة حرارة الغرفة. تم حساب الكثافة بطريقة ارشيميدس. والبيانات المتحصل عليها محسوبة من خلال برنامج Phy-x/ PSD مدرجة في الجداول 1 و2 التالية للعينتين.



الجدول (1) الاوزان الجزيئية والكثافة للزجاج المحتوي على أكسيد البزموت.

| Sample 1 $\rho = 9.4 \text{ g/cm}^3$ | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Compounds formula | Wi: weight fraction of compounds % | Molecular weight of compounds g/mol | Mole fraction of compounds % mol |
| Bi ₂ O ₃ | 0.933 | 465.959 | 70.000 |
| SiO ₂ | 0.034 | 60.084 | 20.000 |
| Al ₂ O ₃ | 0.020 | 101.961 | 7.000 |
| Na ₂ SO ₄ | 0.012 | 142.043 | 3.000 |

الجدول (2) الاوزان الجزيئية والكثافة للزجاج المحتوي على أكسيد الرصاص.

| Sample 2 $\rho = 4.9 \text{ g/cm}^3$ | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Compounds formula | Wi: weight fraction of compounds % | Molecular weight of compounds g/mol | Mole fraction of compounds % mol |
| PbO ₂ | 0.877 | 239.199 | 70.000 |
| SiO ₂ | 0.063 | 60.084 | 20.000 |
| Al ₂ O ₃ | 0.037 | 101.961 | 7.000 |
| Na ₂ SO ₄ | 0.022 | 142.043 | 3.000 |

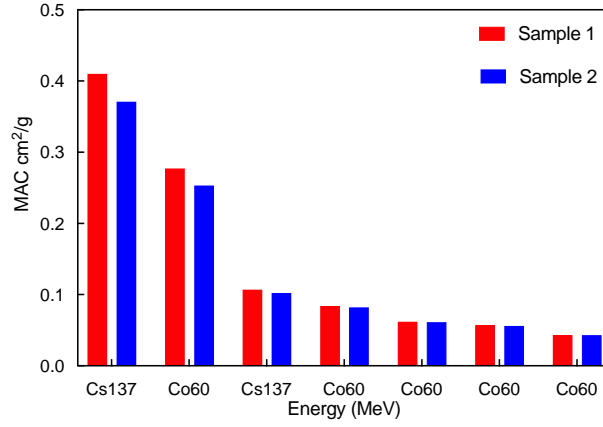
3. النتائج والمناقشة:

من أجل تقييم خصائص التدرج الإشعاعي لأي عينة زجاجية يجب تحديد معامل التوهين الكتلي (MAC) فهو البارامتر الأساسي المستخدم لهذا الغرض، حيث تتأثر خصائص أنظمة زجاج التدرج بشكل أساسي بالتركيب الكيميائي وبكثافة العينات. فالقيمة العالية لمعامل التوهين الكتلي تعني احتماليه عالية؛ لتفاعل فوتونات جاما مع المادة وبالتالي تكون هناك فرصة أفضل للتوهين [1]. معاملات التوهين تم حسابها باستخدام برنامج المحاكاة Phy-x للمحاكاة الموضحة في الجدول (3). عند سبع طاقات مختلفة لأشعة جاما هي الصادرة عن عنصري الكوبالت 60 والسييزيوم 137.

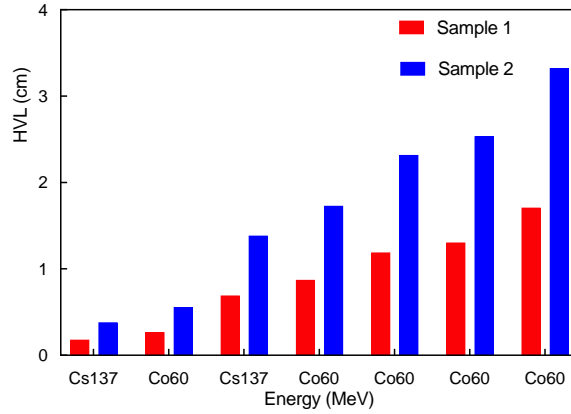
معاملات التوهين الكتلي للعينتين وطبقة نصف القيمة تم إعادة رسمها في شكل أعمدة لتسهيل عملية المقارنة بينها الشكل (4) و (5).

جدول (3) بارامترات التدرج الإشعاعي المحسوبة بواسطة برنامج المحاكاة Phy-x

| Compound | Energy | 0.284 | 0.347 | 0.662 | 0.826 | 1.17 | 1.33 | 2.51 |
|----------|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | MeV | Cs 137 | Co 60 | Cs 137 | Co 60 | Co 60 | Co 60 | Co 60 |
| Sample 1 | MAC (cm ² /g) | 0.410 | 0.277 | 0.107 | 0.084 | 0.062 | 0.057 | 0.043 |
| | HVL (cm) | 0.180 | 0.266 | 0.691 | 0.873 | 1.19 | 1.304 | 1.707 |
| | N _{eff} E+23 (Ele/g) | 4.87 | 4.42 | 3.33 | 3.10 | 2.88 | 2.83 | 2.94 |
| | Z _{eff} | 60.60 | 55.07 | 41.44 | 38.68 | 35.83 | 35.30 | 36.58 |
| Sample 2 | MAC (cm ² /g) | 0.371 | 0.253 | 0.102 | 0.082 | 0.061 | 0.056 | 0.043 |
| | HVL (cm) | 0.381 | 0.558 | 1.384 | 1.729 | 2.319 | 2.534 | 3.324 |
| | N _{eff} E+23 (Ele/g) | 5.34 | 4.73 | 3.40 | 3.16 | 2.92 | 2.87 | 2.99 |
| | Z _{eff} | 51.95 | 45.96 | 30.02 | 30.67 | 28.35 | 27.93 | 29.03 |



الشكل (4) يوضح المقارنة بين معامل التوهين الكتلي للعينتين عند الطاقات السبعة



الشكل (5) مقارنة طبقة نصف القيمة للعينتين في المدى المحدد من الطاقة

التفاعلات المساهمة في عملية التوهين عند المدى المحدد من الطاقة (2.580×10^{-3} to 3 MeV) والمتحصل عليها من خلال برنامج X-COM، الموضحة في الجدول (4,5) (حيث تم تضليل معامل التوهين الكتلي بثلاثة ألوان مختلفة، بحيث يشير كل لون إلى التفاعل الأكثر مساهمة في عملية توهين فوتونات جاما). تم إعادة رسمها أيضاً للعينتين على شكل أعمدة في الشكلين (6,7)؛ لتوضيح التفاعل الأكثر مساهمة في عملية التوهين.

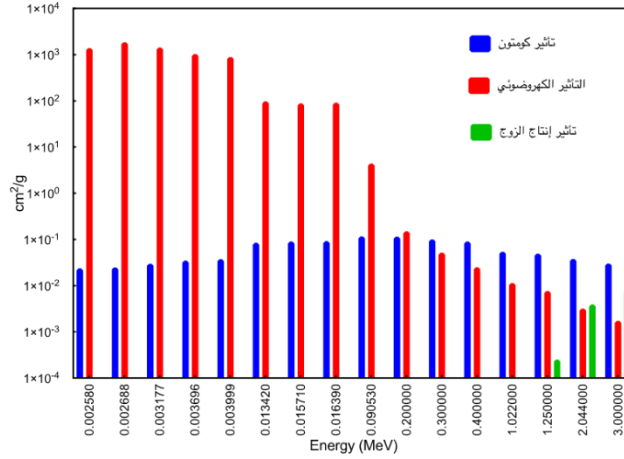


الجدول (4) قيم معاملات التأثير (كومبتون والكهروضوئي وإنتاج الزوج) للعينة 1

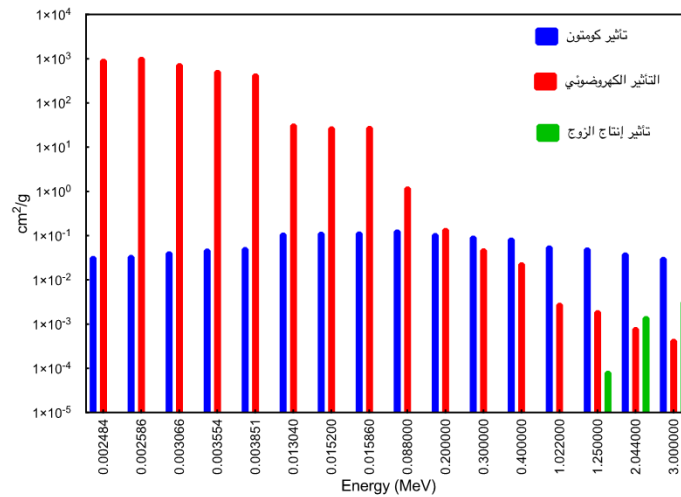
| Sample 1 | حافة الامتصاص | الطاقة MeV | تأثير كومبتون Cm ² /g | التأثير الكهروضوئي Cm ² /g | تأثير إنتاج الزوج Cm ² /g | معامل التوهين الكلي Cm ² /g |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|--|---|---|
| 83 M ₅ | | 2.580E-03 | 2.375E-02 | 1.392E+03 | 0.000E+00 | 1.392E+03 |
| 83 M ₄ | | 2.688E-03 | 2.491E-02 | 1.864E+03 | 0.000E+00 | 1.864E+03 |
| 83 M ₃ | | 3.177E-03 | 2.998E-02 | 1.436E+03 | 0.000E+00 | 1.436E+03 |
| 83 M ₂ | | 3.696E-03 | 3.498E-02 | 1.038E+03 | 0.000E+00 | 1.038E+03 |
| 83 M ₁ | | 3.999E-03 | 3.772E-02 | 8.914E+02 | 0.000E+00 | 8.914E+02 |
| 83 L ₃ | | 1.342E-02 | 8.476E-02 | 9.791E+01 | 0.000E+00 | 9.800E+01 |
| 83 L ₂ | | 1.571E-02 | 9.048E-02 | 8.833E+01 | 0.000E+00 | 8.842E+01 |
| 83 L ₁ | | 1.639E-02 | 9.194E-02 | 9.210E+01 | 0.000E+00 | 9.219E+01 |
| 83 K | | 9.053E-02 | 1.171E-01 | 4.415E+00 | 0.000E+00 | 4.532E+00 |
| | | 2.000E-01 | 1.150E-01 | 1.498E-01 | 0.000E+00 | 2.647E-01 |
| | | 3.000E-01 | 1.007E-01 | 5.178E-02 | 0.000E+00 | 1.525E-01 |
| | | 4.000E-01 | 9.054E-02 | 2.503E-02 | 0.000E+00 | 1.156E-01 |
| | | 1.022E+00 | 5.444E-02 | 1.140E-02 | 0.000E+00 | 6.583E-02 |
| | | 1.250E+00 | 4.926E-02 | 7.688E-03 | 2.525E-04 | 5.720E-02 |
| | | 2.044E+00 | 3.781E-02 | 3.192E-03 | 3.926E-03 | 4.492E-02 |
| | | 3.000E+00 | 3.014E-02 | 1.731E-03 | 8.204E-03 | 4.008E-02 |

الجدول (5) قيم معاملات التأثير (كومبتون والكهروضوئي وإنتاج الزوج) للعينة 2

| Sample 2 | حافة الامتصاص | الطاقة MeV | تأثير كومبتون Cm ² /g | التأثير الكهروضوئي Cm ² /g | تأثير إنتاج الزوج Cm ² /g | معامل التوهين الكلي Cm ² /g |
|-------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|--|---|---|
| 82 M ₅ | | 2.484E-03 | 3.505E-02 | 1.001E+03 | 0.000E+00 | 1.001E+03 |
| 82 M ₄ | | 2.586E-03 | 3.671E-02 | 1.108E+03 | 0.000E+00 | 1.108E+03 |
| 82 M ₃ | | 3.066E-03 | 4.425E-02 | 7.994E+02 | 0.000E+00 | 7.995E+02 |
| 82 M ₂ | | 3.554E-03 | 5.132E-02 | 5.598E+02 | 0.000E+00 | 5.598E+02 |
| 82 M ₁ | | 3.851E-03 | 5.535E-02 | 4.658E+02 | 0.000E+00 | 4.659E+02 |
| 82 L ₃ | | 1.304E-02 | 1.175E-01 | 3.427E+01 | 0.000E+00 | 3.439E+01 |
| 82 L ₂ | | 1.520E-02 | 1.237E-01 | 2.956E+01 | 0.000E+00 | 2.969E+01 |
| 82 L ₁ | | 1.586E-02 | 1.252E-01 | 3.020E+01 | 0.000E+00 | 3.033E+01 |
| 82 K | | 8.800E-02 | 1.386E-01 | 1.301E+00 | 0.000E+00 | 1.440E+00 |
| | | 2.000E-01 | 1.150E-01 | 1.498E-01 | 0.000E+00 | 2.647E-01 |
| | | 3.000E-01 | 1.007E-01 | 5.178E-02 | 0.000E+00 | 1.525E-01 |
| | | 4.000E-01 | 9.054E-02 | 2.503E-02 | 0.000E+00 | 1.156E-01 |
| | | 1.022E+00 | 6.009E-02 | 3.056E-03 | 0.000E+00 | 6.315E-02 |
| | | 1.250E+00 | 5.433E-02 | 2.062E-03 | 8.806E-05 | 5.648E-02 |
| | | 2.044E+00 | 4.164E-02 | 8.566E-04 | 1.518E-03 | 4.402E-02 |
| | | 3.000E+00 | 3.317E-02 | 4.645E-04 | 3.428E-03 | 3.708E-02 |



الشكل (6) تفاعلات التوهين للعينة المحتوية أكسيد البزموت



الشكل (7) تفاعلات التوهين للعينة المحتوية أكسيد الرصاص

بمقارنة النتائج المتحصل عليها في الجدول (3) ومن خلال الشكل (4) للعينتين نجد أن هناك تقارب في معامل توهين الكتلي للعينتين بأفضلية بسيطة لزجاج أكسيد البزموت عند الطاقات الصغيرة، وهذا يعود الي لتأثير قيمة العدد الذري الفعال الذي يكون أكبر في عينة أكسيد البزموت، الامر الذي يسمح بمزيد من تفاعلات الامتصاص او التشتت عن طريق التأثير الكهروضوئي او تأثير كومبتون في تلك المنطقة مع الالكترونات. حيث ان جميع تفاعلات الفوتون تحدث مع الالكترونات داخل المادة وان معدل فناء الفوتون او استمرار توغله داخل المادة يعتمد على كثافة الالكترونات داخل المادة وكلما زاد تركيز كثافة الالكترونات زادت فرصة الفوتون للتفاعل [1-7, 11, 15, 16]. وبملاحظ قيمة الكثافة الالكترونية الفعالة نجدها لزجاج أكسيد الرصاص اعلى من زجاج أكسيد البزموت وهذ قد يعود الي زيادة سمك طبقة نصف القيمة مما يعني المزيد من



مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal

Journal homepage: wwwhttps://fezzanu.edu.ly/



الإلكترونات المشاركة في عملية التوهين. فالمواد ذات الكثافات الإلكترونية العالية تكون أفضل في الحماية من الإشعاع منخفض الطاقة، بينما المواد ذات الكثافات الإلكترونية المنخفضة تكون أفضل في الحماية من الإشعاع عالي الطاقة [18,17] بزيادة طاقة الإشعاع ينخفض معامل التوهين الكتلي بالتدرج وتتقارب قيمه في العينتين إلى أن يتساوى معاملي التوهين الكتلي عند الطاقة 2.51 MeV. ولكن بمقارنة قيمة طبقة السمك النصفى للعينتين في الشكل (5) عند جميع الطاقات تبين إن زجاج أكسيد البزموت له طبقة نصف قيمة أقل عن زجاج أكسيد الرصاص، وهذا يرجع إلى الكثافة العالية للعينة المحتوية على أكسيد البزموت. وعليه فإن مؤشر طبقة نصف القيمة يعطي الأفضلية للعينة المحتوية على أكسيد البزموت في نظام الحماية من الإشعاع.

من الجدول (5 , 4) والشكل (7 , 6) نلاحظ أن تفاعل تأثير كومبتون كان الأكثر مساهمة عند قيم الطاقة المتوسطة ويبقى المسيطر حتى بعد قيم الطاقة المدروسة في المدى المحدد (2.580×10^{-3} to 3 MeV). فاعلية التأثير الكهروضوئي تبدو واضحة عند الطاقات المنخفضة الشكل (7 , 6). ولكنها سرعان ما تتناقص بشكل ملحوظ بزيادة طاقة إشعاع جاما إلى أن تنتهي مشاركته في عملية التوهين عند الطاقة (1.5 MeV)، أما مساهمة تأثير إنتاج الزوج في عملية توهين الأشعاع ليس لها أي قيمة تذكر في المدى المحدد من الطاقة المدروسة (2.580×10^{-3} to 3 MeV)، ولكن بشكل عام تبدأ مساهمة عملية إنتاج الزوج في توهين أشعة جاما عند طاقة جاما أكبر من 1.022 MeV مع مساهمة مشتركة مع تفاعلات تأثير كومبتون وهذا ما نراه في الشكل (7 , 6) ولكن بزيادة طاقة اشعاعات جاما إلى قيمة عالية جداً فإنه سرعان ما تصبح عملية إنتاج الزوج أهم عملية بين العمليات الثلاث، ولا وجود لأي مساهمة لتفاعل التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.

4. الخلاصة:

خلصت الدراسة إلى أن هناك تقارب في معامل التوهين الكتلي للعينتين، ولكن كانت الأفضلية للزجاج المحتوي على أكسيد البزموت الذي تمتع بطبقة نصف قيمة مناسبة جداً لعمليات الحماية من الإشعاع عند الطاقات المنبعثة من عنصري السيزيوم والكوبالت، وهذا يعود للكثافة المرتفعة للعينة المحتوية على أكسيد البزموت. مما يعني أن أكسيد البزموت هو بديل مناسب عن أكسيد الرصاص حسب هذه الدراسة. تأثير كومبتون كان التفاعل الأكثر مساهمة في عملية التوهين في منطقة الطاقة المدروسة، أما التأثير الكهروضوئي كانت مساهمته عند الطاقات الصغيرة، ولكن بزيادة الطاقة فإنه سرعان ما قلت فاعليته وأصبحت مساهمته لا تذكر في عملية التوهين، تفاعل الإنتاج الزوجي لم يكن له أي أهمية في عملية التوهين عند الطاقات المنبعثة من عنصري السيزيوم والكوبالت.

المراجع

- [1] P. Kaur, D. Singh, and T. Singh, "Heavy metal oxide glasses as gamma rays shielding material," *Nuclear Engineering and Design*, vol. 307, pp. 364–376, Oct. 2016, doi: 10.1016/J.NUCENGDES.2016.07.029.
- [2] R. El-Mallawany, M. I. Sayyed, M. G. Dong, and Y. S. Rammah, "Simulation of radiation shielding properties of glasses contain PbO," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 151, pp. 239–252, Oct. 2018, doi: 10.1016/J.RADPHYSHEM.2018.06.035.



- [3] K. J. Singh, S. Kaur, and R. S. Kaundal, “Comparative study of gamma ray shielding and some properties of PbO–SiO₂–Al₂O₃ and Bi₂O₃–SiO₂–Al₂O₃ glass systems,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 96, pp. 153–157, Mar. 2014, doi: 10.1016/J.RADPHYSICHEM.2013.09.015.
- [4] K. Kirdsiri, J. Kaewkhao, N. Chanthima, and P. Limsuwan, “Comparative study of silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO and BaO: Radiation shielding and optical properties,” *Ann Nucl Energy*, vol. 38, no. 6, pp. 1438–1441, Jun. 2011, doi: 10.1016/J.ANUCENE.2011.01.031.
- [5] M. I. Sayyed *et al.*, “Radiation shielding and mechanical properties of Bi₂O₃–Na₂O–TiO₂–ZnO–TeO₂ glass system,” *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 186, p. 109556, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.RADPHYSICHEM.2021.109556.
- [6] J. Kaewkhao and P. Limsuwan, “Mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in phosphate glass containing Bi₂O₃, PbO and BaO at 662 keV,” *Nucl Instrum Methods Phys Res A*, vol. 619, no. 1–3, pp. 295–297, Jul. 2010, doi: 10.1016/J.NIMA.2009.11.033.
- [7] M. I. Sayyed, “Bismuth modified shielding properties of zinc boro-tellurite glasses,” *J Alloys Compd*, vol. 688, pp. 111–117, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2016.07.153.
- [8] M. I. Abbas *et al.*, “Gamma-ray attenuation and exposure buildup factor of novel polymers in shielding using geant4 simulation,” *Materials*, vol. 14, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/MA14175051.
- [9] دمشق، السادسة، الكيمياء الصناعية الجزء الأول تكنولوجيا الصناعات الكيميائية اللاعضوية، طارق إسماعيل كاخيا، سوريا، 2005.
- [10] N. Chanthima and J. Kaewkhao, “Investigation on radiation shielding parameters of bismuth borosilicate glass from 1 keV to 100 GeV,” *Ann Nucl Energy*, vol. 55, pp. 23–28, 2013, doi: 10.1016/J.ANUCENE.2012.12.011.
- [11] M. K. Halimah, A. Azuraida, M. Ishak, and L. Hasnimulyati, “Influence of bismuth oxide on gamma radiation shielding properties of boro-tellurite glass,” *J Non Cryst Solids*, vol. 512, pp. 140–147, May 2019, doi: 10.1016/J.JNONCRY SOL.2019.03.004.
- [12] B. O. Elbashir, M. G. Dong, M. I. Sayyed, S. A. M. Issa, K. A. Matori, and M. H. M. Zaid, “Comparison of Monte Carlo simulation of gamma ray attenuation coefficients of amino acids with XCOM program and experimental data,” *Results Phys*, vol. 9, pp. 6–11, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.RINP.2018.01.075.
- [13] S. A. M. Issa, M. I. Sayyed, M. H. M. Zaid, and K. A. Matori, “Photon parameters for gamma-rays sensing properties of some oxide of lanthanides,” *Results Phys*, vol. 9, pp. 206–210, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.RINP.2018.02.039.



مجلة جامعة فزان العلمية
Fezzan University scientific Journal

Journal homepage: [wwwhttps://fezzanu.edu.ly/](https://fezzanu.edu.ly/)



- [14] A. M. A. Mostafa, S. A. M. Issa, and M. I. Sayyed, “Gamma ray shielding properties of PbO-B₂O₃-P₂O₅ doped with WO₃,” *J Alloys Compd*, vol. 708, pp. 294–300, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.JALLCOM.2017.02.303.
- [15] J. H. Hubbell, “Photon cross sections, attenuation coefficients, and energy absorption coefficients from 10 keV to 100 GeV,” 1969, doi: 10.6028/NBS.NSRDS.29.
- [16] R. Biswas, H. Sahadath, A. S. Mollah, and Md. F. Huq, “Calculation of gamma-ray attenuation parameters for locally developed shielding material: Polyboron,” *J Radiat Res Appl Sci*, vol. 9, no. 1, pp. 26–34, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.JRRAS.2015.08.005.
- [17] I. Akkurt, A. Alomari, M. Y. Imamoglu, & I. Ekmekçi, Medical radiation shielding in terms of effective atomic numbers and electron densities of some glasses. *Radiation Physics and Chemistry*, (2023). 206, 110767.
- [18] S.B. Kaginelli T. Rajeshwari, B.R. Kerur & A.S.Kumar, Effective atomic numbers and electron density of dosimetric material. *Journal of Medical Physics/Association of Medical Physicists of India*, (2009). 34(3), 176.