



The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)

مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)

EISSN: 2959-4820

Volume 2, Issue 1, January - March 2024, Page No: 79-91

Website: <https://najsp.com/index.php/home/index>

SJIFactor 2023: 3.733 0.63 :2023 (AIF) معامل التأثير العربي ISI 2023: 0.383

تأثير استبدال أكسيد الفوسفات بأكاسيد الحديد والأنثيمون والبزموت على بارامترات التدرج للنظام الزجاجي $Pb_3O_4 P_2O_5 ZnO Na_2SO_4$ في مدى طاقة (0.15 – 5 MeV)

- أ. وسام أحمد زيارة^{1*}، أ. عبد القادر علي أبوبكر²، أ. سامح احمد نجم³، أ. امحمد جمعة امحمد⁴، د. طارق محمد فايز⁵
- 1 قسم الفيزياء، كلية التربية، جامعة فزان، تراغن، ليبيا
 - 2 قسم هندسة الطاقات المتجددة كلية الهندسة، جامعة سبها، سبها، ليبيا
 - 3 قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بنغازي، بنغازي، ليبيا
 - 4 قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة فزان، تراغن، ليبيا
 - 5 قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة سبها، سبها، ليبيا

The effect of replacing phosphate oxide with antimony and bismuth iron oxides on the shielding parameters of the $Pb_3O_4 P_2O_5 ZnO Na_2SO_4$ glass system in the energy range (0.15 – 5 MeV)

Wesam Ahmed Zeyara^{1*}, Abdelkhalder Ali Abo baker², Sameh Ahmed Negem³, Emhemmad Jumha Emhemmad⁴, Tarek Mohamed Fayez⁵

¹ Department of Physics., Faculty of Education, University of Fezzan-Tragen, Libya

² Department of Renewable Energy, Faculty of Eng., Sebha University, Sebha, Libya

³ Department of Physics, Faculty of Science, University of Benghazi, Benghazi, Libya

⁴ Department of Chemistry, Faculty of Education, University of Fezzan, Tragen, Libya

⁵ Department of Physics, Faculty of Science, Sebha University, Sebha, Libya

*Corresponding author

wes.ziara@fezzanu.edu.ly

*المؤلف المراسل

تاريخ النشر: 2024-03-20

تاريخ القبول: 2024-02-13

تاريخ الاستلام: 2024-01-01

الملخص

في هذه الورقة تمت دراسة بارامترات التوهين الاشعاعي لأشعة جاما (معامل التوهين الكتلي (MAC) ، العدد الذري الفعال (Zeff) ، الكثافة الالكترونية الفعالة (Neff) ، متوسط المسار الحر (MFP) ، وطبقة نصف القيمة (HVL) ، وطبقة السمك العاشر (TVL)) ، الناتجة عن استبدال أكسيد الفوسفات (P_2O_5) بكل من أكسيد الحديد (Fe_2O_3) ، واكسيد الأنثيمون (Sb_2O_3) ، واكسيد البزموت (Bi_2O_3) . تم تحضير العينات بتقنية التبريد بالذوبان عند درجة انصهار 1150 درجة مئوية، وحسبت كثافة العينات باستخدام طريقة ارشيميدس. بارامترات التوهين تم حسابها باستخدام برنامج المحاكاة PHY-X/PSD عند الطاقات (0.248, 0.347, 0.662, 826, 1.17, 1.33, 2.51 MeV) لأربعة مركبات من زجاج فوسفات الزنك والالومنيوم المحتوي على أكسيد الرصاص الأحمر (Pb_3O_4) حسب التركيب:

(S1): 60Pb3O4 32P2O5 3ZnO 5Na2SO4

(S2): 60Pb3O4 29P2O5 3Fe2O3 3ZnO 5Na2SO4

(S3): 60Pb3O4 29P2O5 3Sb2O3 3ZnO 5Na2SO4

(S4): 60Pb3O4 29P2O5 3Bi2O3 3ZnO 5Na2SO4

تفاعلات الاشعاع مع المادة تم حسابها باستخدام برنامج X-COM في مدى طاقة يتراوح من (0.15 – 5 MeV) وهو المدى الذي يحوي قيم الطاقات التي تنبعث عن عنصري الكوبالت 60 ، والسيزيوم 137. لكونها تستخدم في مجال العلاج الاشعاعي والبحث العلمي.

أظهرت النتائج أن العينة S4 المحتوية على أكسيد البزموت تمتعت بأفضل بارامترات توهين عند جميع الطاقات، تليها العينة S3 ، ثم S2 ، وأخيرا جاءت العينة S1 الخالية من الإضافات. كما بينت النتائج العملية ان العينات المتحصل عليها لم تكن على القدر الكافي من الشفافية باستثناء العينة (S1). نتائج محاكاة X-COM بينت ان تفاعل كومتون كان له السيطرة على عملية التوهين عند جميع الطاقات المختارة مع مشاركة قليلة لتفاعل التأثير الكهروضوئي عند اول قيمتين للطاقة

الكلمات المفتاحية: التدرج الإشعاعي، أكسيد البزموت، تفاعلات التوهين، زجاج الفوسفات، معاملات التوهين.

Abstract

In this paper, the radiation attenuation parameters for gamma rays were calculated (mass attenuation coefficient (MAC), effective atomic number (Zeff), effective electronic density (Neff), mean free path (MFP), half-value layer (HVL), and tenth thickness layer (TVL), resulting from replacing phosphate oxide (P2O5) with iron oxide (Fe2O3), antimony oxide (Sb2O3), and bismuth oxide (Bi2O3). The samples were prepared using the melt-quenching technique at a melting point of 1150 °C, and the density of the samples was calculated using the Archimedes method. Attenuation parameters were calculated using the simulation program PHY-X/PSD at energies (0.248, 0.347, 0.662, 826, 1.17, 1.33, and 2.51 MeV) for four aluminium-zinc phosphate glass compounds containing red lead oxide (Pb3O4) according to the composition:

(S1): 60Pb3O4 32P2O5 3ZnO 5Na2SO4

(S2): 60Pb3O4 29P2O5 3Fe2O3 3ZnO 5Na2SO4

(S3): 60Pb3O4 29P2O5 3Sb2O3 3ZnO 5Na2SO4

(S4): 60Pb3O4 29P2O5 3Bi2O3 3ZnO 5Na2SO4

Radiation interactions with matter were calculated using the X-COM program in an energy range ranging from (0.15 - 5 MeV), which is the range that contains the values of the energies emitted by the element's cobalt 60 and cesium 137 because they are used in the field of radiation therapy and scientific research.

The results showed that sample S4 containing bismuth oxide had the best attenuation parameters at all energies, followed by sample S3, then S2, and finally sample S1 without additives. The experimental results also showed that the samples obtained were not sufficiently transparent, except sample (S1). The X-COM simulation results showed that the Compton interaction had control over the attenuation process at all selected energies, with little involvement of the photoelectric effect interaction at the first two energy values.

Keywords: Radiation shielding, bismuth oxide, attenuation reactions, phosphate glass, attenuation coefficients.

1. المقدمة:

أدى اكتشاف الإشعاعات المؤينة إلى إحداث تحول مهم في العديد من المجالات الطبية والصناعية والبحثية والتجارية. فمن علاج السرطان، وتشعيع الدم، وتعقيم الأجهزة الطبية التي تشعيع الأغذية للحد من انتقال الأمراض المنقولة به وحماية المحاصيل من الحشرات، التي الاختبارات اللاإتلافية الصناعية، واستكشاف التكوينات الجيولوجية للعثور على رواسب النفط والغاز. وعادة ما يتم تخزين المصادر المشعة المستخدمة في هذه الاستعمالات في مرافق جامعية وطبية وبحثية وحكومية وتجارية وغيرها من المرافق، التي يتم الوصول إليها واستخدامها بواسطة موظفين مؤهلين، وفي حالة التعامل مع هذه المصادر بشكل خاطئ، فقد تتسبب في أضرار وإصابات جسيمة لا تحمد عقباه. لذلك فإن هذا الأمر يتطلب ضرورة أن تكون هذه الإشعاعات المؤينة محمية تجنباً للأثار الضارة التي تنتج عن تطبيقاتها المختلفة. فأشعة جاما هي إشعاع مؤين نشط يمكن أن يلحق الضرر بالخلايا الحية لأنه ينقل طاقته إلى الخلايا المحيطة. تحدد طاقة الإشعاع قدرته على اختراق المواد. ويتم التعبير عن طاقة الإشعاع بالإلكترون فولت أو الكيلو إلكترون فولت أو الميجا إلكترون فولت. ويعتبر كل من الكوبالت 60 المشع، الذي يبلغ نصف عمره 5.27 سنة. وينتج عن انحلاله أشعاعي جاما بطاقة 1.17, 1.33, 2.51, 0.826, 0.347 ميجا إلكترون فولت. والسيزيوم 137 المشع الذي يبلغ نصف عمره 30.17 سنة، وطاقة أشعة جاما المنبعثة منه تبلغ 0.284 و 0.662 ميجا إلكترون فولت، من أهم المصادر المشعة التي يكثر استخدامها في مختلف المجالات.

تتعدد طرق للسيطرة على التعرض الخارجي للإشعاع وتقليله للحد الأدنى ولاسيما طريقة الأغلفة أو الدروع الواقية لكونها تؤدي فعلا إلى مستويات عملية آمنة، وعلى الرغم من وجود مواد مختلفة تستخدم للتدرج ضد أشعة جاما إلا أن الرصاص يأتي في المقدمة بما يملكه من قوة حجب عالية تساعد على تقليل سماكة الدروع المصنعة منه، ولكن بسبب اتساع المساحات المطلوب حمايتها وخاصة عند تصميم الدروع الواقية من أشعة جاما في المستشفيات والعيادات والمنشآت النووية فإن

استخدام الرصاص يصبح مكلفاً، ولذلك يتم استخدام الخرسانة لأنها رخيصة الثمن ويمكن تشكيلها بسهولة في أي تصميم مرغوب. وعلى الرغم من هذه المزايا إلا إنه هناك بعض القيود المرتبطة بالخرسانة، حيث أنها غير شفافة للضوء المرئي مما يعيق الرؤية من خلالها. وإذا تعرضت للإشعاعات لفترة طويلة تقل قوتها الميكانيكية. لذلك يفضل أن تكون المواد المستخدمة للتدريع شفافة ولها خصائص حماية أفضل من حيث متطلبات الحجم الأقل.

حديثاً أثبتت الأنظمة الزجاجية المعدنية الثقيلة أنها مواد تدريع واعدة كبديل لمواد التدريع التقليدية مثل الخرسانة. [8-1] ، فالزجاج مادة صلبة لا بلورية، له القدرة على امتصاص وتشتيت الإشعاع بفاعلية كبيرة ، يتميز بشفافيته ونفاذيته للضوء المرئي، كما يمكن تعديل وتغيير خصائصه الفيزيائية والكيميائية بإضافة مركبات أخرى إليه [9,10]. كذلك يعتبر الزجاج مادة سهلة التصنيع، قليلة التكلفة، ويمكن إعادة تدويره بنسبة 100%. ويتميز عن باقي المواد الصلبة اللا متبلورة بظاهرة الانتقال الزجاجي، وهي حالة خاصة تطرأ على المواد عندما يتم تبريدها بسرعة كبيرة بحيث لا يتمكن النظام من التحول إلى الحالة البلورية المنتظمة، وبدلاً من ذلك تتجمد الجزيئات أو الذرات في حالة غير منتظمة، وتبقى المادة في حالة الانتقال الزجاجي صلبة ولكنها تفتقر إلى الترتيب البلوري المنتظم. وبذلك تؤدي ظاهرة الانتقال الزجاجي، إلى تكوين هيكل زجاجي غير دورية. [11] ، وتتأثر حالة الانتقال الزجاجي بالحجم المولي للمادة، فعند تبريد المصهور تبريداً سريعاً ومتواصلاً، تقل حركة الجزيئات أو الذرات، وتزداد قوى الجذب بينها، مما يؤدي إلى انخفاض حجم المادة. وعندما تصل المادة إلى درجة الانتقال الزجاجي، يتم تجميدها في هذا الحجم المنخفض وهذا يؤثر كثيراً على خواص الزجاج الناتج، فالزجاج الذي يبرد بسرعة أكبر تكون له درجة انتقال زجاجي أعلى، وحجم مولي أكبر، ونتيجة لذلك يكون أقل كثافة من الزجاج المبرد تبريداً بطيئاً [12]. ومع ذلك، يجب ملاحظة أن هناك عدة عوامل أخرى قد تؤثر على العلاقة بين حالة الانتقال الزجاجي والحجم المولي والكثافة، مثل التركيب الكيميائي للمادة وعوامل التصنيع وظروف التبريد. ويمكن أن تختلف خصائص الزجاج من مادة زجاجية إلى أخرى وفقاً لتركيبها وعملية تصنيعها.

إن الإدراك الجيد لتفاعل أشعة جاما مع المادة هو الأساس للعثور على مادة حماية جيدة من الإشعاع ذات خصائص فيزيائية مناسبة . حيث يحدث التدريع الإشعاعي أو تخفيف إشعاع جاما من خلال تفاعل إشعاع جاما مع المادة. وتعتمد درجة توهين إشعاع جاما على طاقة الأشعاع الساقط، والعدد الذري وكثافة العناصر الموجودة في مادة التدريع، وسمك مادة الدرع. وقد توفر المواد المركبة فوائد إضافية من حيث المقاومة الكيميائية، والمتانة [13]. لذلك تعد المواد ذات العدد الذري العالي والعناصر عالية الكثافة خياراً جيداً لصناعة دروع فعالة لحجز أشعة جاما وتقليل تأثيراتها السلبية.

تعتبر برامج المحاكاة مثل X-COM & PHY-X/PSD، فعالة من حيث توفير التكلفة والوقت عندما يتعلق الأمر بالتعامل مع تركيبات متعددة من الزجاج ومعدلات مختلفة بنسب وزنية مختلفة في أي نطاق طاقة لأي نوع من الإشعاع، وعليه تعتبر المحاكاة هي الخطوة الأولى لتحديد أفضل خليط مع أفضل كسور وزنية قبل إجراء أي تحقيقات تجريبية للخصائص المطلوبة بناءً على التطبيق المستخدم.

أجرى Alomairy et.al دراسة باستخدام زجاج السيليكا المحتوي على أكسيد الرصاص الأحمر Pb_3O_4 ، ووجد إن إضافة أكسيد الرصاص الأحمر بنسبة تتجاوز 30% mol ، يعمل كمشكل ومعدل لشبكة زجاج السيليكا. [14]

دراسة اجراها Albarzan et.al عن إشابة زجاج الألمنيوم وبورات الرصاص بأكسيد الحديد Fe_2O_3 وتأثيره على بنية وخصائص التدريع الإشعاعي لنظام $30Pb_3O_4 - (15-x) Al_2O_3 - xFe_2O_3 - 55B_2O_3$ حيث $x = 0, 1, 2$ ، باستخدام برنامج محاكاة مونت كارلو وبرنامج XCOM لتقييم معاملات الحماية لفوتون جاما. وجد أن زيادة نسبة أكسيد الحديد Fe_2O_3 ، تزيد من قيم لمعامل التوهين الكتلي. [15]

أجرى El-Maaref et.al دراسة تأثير استبدال أكسيد الحديد Fe_2O_3 بأكسيد الصوديوم على خصائص الحماية الميكانيكية لزجاج الفوسفات لأشعة جاما والنيوترونات باستخدام برنامج المحاكاة PHY-X/PSD، حسب التركيب: $20PbO - 45P_2O_5 - 15Al_2O_3 - (20-X) NaO_2 - XFe_2O_3$ ، وجد ان. وزيادة نسبة Fe_2O_3 في العينات الزجاجية المحضرة تزيد من معدل توهين اشعة جاما والنيوترونات. وان استبدال أكسيد الحديد بأكسيد الصوديوم تعمل على تحسين مقاومة هذا النظام للماء بشكل كبير. [16]

أجرى Shahboub et.al دراسة عن دور أكسيد الحديد في تعزيز بنية وخصائص التدريع لنظام فوسفات الفضة $Ag_2O - P_2O_5$ ذو التركيب $60P_2O_5 - (40-x)Ag_2O - xFe_2O_3$ حيث $x = 5, 10, 15, 20$ باستخدام برنامج المحاكاة WinXCom ، وجد أن زيادة Fe_2O_3 تؤدي إلى تكوين روابط P-O-Fe، مما يزيد من متانة وصلادة الهيكل الزجاجي، كذلك بزيادة نسبة أكسيد الحديد تتناقص الكثافة، ويزداد الحجم المولي، بالإضافة الي ذلك أظهرت النتائج أنه كلما زاد محتوى Fe_2O_3 ، انخفض معامل التوهين الكتلي. وان الزجاج الذي يحتوي على 5% mol من Fe_2O_3 يتمتع بأقل قيمة لطبقة السمك النصفية، وأعلى قيمة للعدد الذري الفعال. [17]

قام Shaaban et.al بدراسة الخصائص البصرية والحرارية والإشعاعية للنظام الزجاجي ذو التركيب: $20\text{PbO} \cdot 15\text{SiO}_2 \cdot (20-X)\text{Na}_2\text{O} \cdot X\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 45\text{P}_2\text{O}_5$ حيث $(X = 0, 0.5, 1, 1.5, 2)$ ، الذي يتمتع بخصائص بصرية وحرارية استثنائية بسبب ثباته الكيميائي ، مما يجعله مناسب للاستخدام كدرع إشعاعي. وتبين انه بزيادة نسبة Fe_2O_3 إلى عينات الزجاج تزيد الكثافة. وان الزجاج المحتوي على نسبة (2% mol) من أكسيد الحديد له أعلى كثافة من بين العينات الأخرى وبالتالي فهو يتمتع بخواص تدريجية أفضل من تلك المحتوية على نسبة اقل. [18]

كذلك أجري Zoulfakar et al محاكاة لدراسة تأثير أكسيد الأنثيمون على خواص التدرج لزجاج بوريدات الصوديوم حسب التركيب $[20\text{Na}_2\text{O} - 20\text{SiO}_2 - (60-x)\text{B}_2\text{O}_3 - (x)\text{Sb}_2\text{O}_3]$ حيث $x = 0 : 5$ باستخدام برنامج المحاكاة WinXCom. عند الطاقات (0.356 & 0.622 MeV) وتبين انه ليس لأكسيد الأنثيمون أي تأثير تقريباً على معامل التوهين الشامل عند الطاقات المنخفضة ، بينما في الطاقات العالية يعمل على زيادة معامل التوهين الشامل وأفضل عينة هي التي تحتوي على 20% mol من Sb_2O_3 . [19]

أجريت Negin Allahmoradi et al دراسة عن دور أكسيد الأنثيمون Sb_2O_3 على الخواص الفيزيائية لزجاج سيليكات الرصاص ذات التركيب $[65\text{PbO} (35-x)\text{SiO}_2 x\text{Sb}_2\text{O}_3]$ ، حيث $x = 0 : 5$ ، أظهرت التجارب، ان إضافة 1% mol من Sb_2O_3 تؤدي إلى زيادة الثبات الحراري للزجاج الناتج ، والتركيز الأعلى من ذلك يخفض الثبات الحراري للزجاج، وأن إضافة أكسيد الأنثيمون بكميات تتجاوز (2 % mol) تؤدي الي تكوين فقاعات في الهيكل الزجاجي ، اما الكميات القليلة تخفض نسبة وجود الفقاعات في التركيب الزجاجي بنسبة (50 %) ، ويرجع هذا الإنخفاض إلى تأثير أكسيد الأنثيمون الذي يعمل كعامل تعميم. كما بينت النتائج أنه بارتفاع محتوى Sb_2O_3 في التركيب، فإنه يدخل إلى الهيكل الزجاجي مكوناً روابط (Si-O-Sb). التي تؤدي الي زيادة كثافة الزجاج من $(6.33- 6.95 \text{ g/cm}^3)$ ، ويفسر ذلك بان زيادة كثافة العينات مرتبطة بالكتلة الذرية الأعلى لـ Sb مقارنة بتلك الخاصة بـ Si. كذلك تبين إن العينات التي تحتوي على نسبة 5% mol, 4% من Sb_2O_3 لم تكن زجاجية بالكامل وكانت معتمة نتيجة تكوين طور $\text{Pb}_2\text{Sb}_2\text{O}_4$ الذي كشفه تحليل XRD، وبالتالي فان العينات التي تحتوي على نسبة 4% أو أكثر من Sb_2O_3 ، سيكون من المستحيل ان تشكل هيكلًا زجاجيًا. [20]

باستخدام محاكاة مونت كارلو حاكي Akhdar في (2023) تأثير إضافة بعض الأكاسيد مثل أكسيد الأنثيمون وأكسيد الصوديوم وأكسيد الألومنيوم على أداء النظام الزجاجي $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ كدرع حماية من الفوتون والنيوترون، وبينت النتائج إلى أن إضافة أكسيد الأنثيمون تعزز قدرة الزجاج المدروس على الحماية من الفوتون ولكنها في نفس الوقت تقلل من قدرته على الحماية ضد النيوترونات والعكس صحيح عند إضافة معدلات من أكسيد الصوديوم والأكسيد الألومنيوم. [21]

دراسة اجراها Abouhaswa et.al لأجل استبدال أكسيد الأنثيمون بأكسيد البورون باستخدام محاكاة Geant4 و Phy-X/PSD تشمل خصائص التدرج الفيزيائية والهيكلية والبصرية لحزم فوتونات جاما والإلكترونات والبروتونات للنظام لزجاجي ذو التركيب $x\text{Sb}_2\text{O}_3 - 20\text{Na}_2\text{O} - 20\text{Bi}_2\text{O}_3 - (60-x)\text{B}_2\text{O}_3$ ، حيث $x=0, 2.5, 5, 7.5, 10$ ، بينت النتائج أن محتوى أكسيد الأنثيمون له تأثير مهم على قدرة التدرج ضد جميع أنواع الإشعاعات . واستنتجت الدراسة أن هذه التركيبة الزجاجية لها مستقبل واعد لإستخدامها كمادة تدرج إشعاعي، حيث يمكن موازنة تركيز أكسيد الأنثيمون حسب التطبيق المطلوب. [22]

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

دراسة مهمة قام بها (M. K. Halimah et al., 2019) عن دور أكسيد البزموت على خواص تدرج جاما لزجاج البورتيلوريت . بينت ان إضافة أكسيد البزموت لزجاج البورتيلوريت يزيد من كثافة الزجاج الي 97% ويرجع ذلك الي الوزن الجزيئي العالي لأكسيد البزموت (456 g/mol) وزيادة عدد ذرات الاكسجين غير الجسري (non-bridging oxygen) ، كما يعمل أكسيد البزموت على تغيير تركيب بنية الشبكة الزجاجية فيعمل على إعادة الترتيب الذري وتكوين الاكسجين غير الجسري، كما بينت الدراسة الي ان إضافة أكسيد البزموت تعطي حماية أفضل من خرسانة التدرج القياسية وبعض أنواع زجاج التدرج التجاري [24].

2. منهجية الدراسة

يمكن تلخيص منهجية هذه الدراسة في التالي:

1- تم الحصول عمليا على نظام زجاج فوسفات الزنك والالومنيوم الرصاصي المضاف اليه أكاسيد الحديد الأنثيمون والبزموت بالنسب المتوقع ان تعطي بارامترات توهين جيدة.

- 2- تم حساب كثافة العينات المتحصل عليها عمليا بطريقة ارشيميدس
- 3- تم اختيار مدى طاقات تحاكي طاقة أشعة جاما المنبعثة من عنصري Cs137 & Co 60
- 4- تم حساب بارامترات التدرج الإشعاعي باستخدام برنامج المحاكاة PHY-X/PSD
- 5- تم حساب تفاعلات التوهين باستخدام برنامج المحاكاة X-COM
- 6- تم استخدام برنامج Prism لمقارنة النتائج المتحصل عليها من برامج المحاكاة بيانياً.

3. شمولية الدراسة

يعتبر نظام فوسفات الزنك والصوديوم الرصاصي المستخدم في الدراسة الحالية، أحد أفضل الأنظمة الزجاجية التي تستخدم في عملية التدرج الإشعاعي. وبعد تحليل النتائج المتحصل عليها، نستطيع القول ان التركيبات الزجاجية الأربعة المتحصل عليها تصلح للاستخدام في مختلف تطبيقات التدرج الإشعاعي وعمل هياكل تدرج فعالة مختلفة ضد اشعاع جاما.

4. النظرية

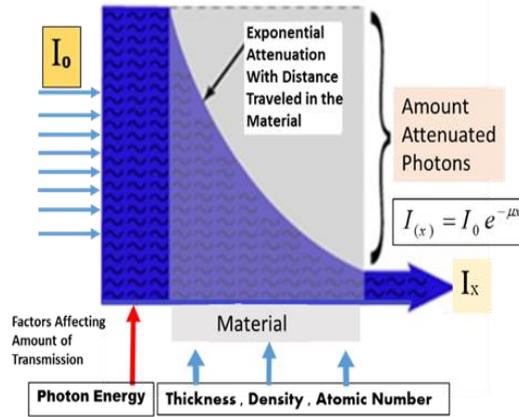
تختلف طرق انتقال الطاقة من إشعاعات جاما الي المادة بشكل كبير عن انتقال الطاقة من الجسيمات المشحونة إلي المادة . فعندما يسقط فوتون جاما على المادة فإنه يمكن أن يفقد طاقته ويمنحها إلي المادة عن طريق إحدى العمليات الرئيسية الثلاثة التالية :

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 الالكترونات الحرة الضعيفة الارتباط بالذرة ، وعادة ما يكون أحد الكترونات المدارات الخارجية وبالتالي ينحرف هذا الفوتون عن مساره

ج-انتاج الأزواج: ويمكن ان يحدث عندما يقترب الفوتون إقترابا كبيرا من نواة الذرة ويتفاعل مع المجال الكهربائي الشديد لها . وخلال هذا التفاعل يفقد فوتون جاما طاقته بالكامل منتجا زوجا الكترونيا - بوزيترونيا ، وبالتالي يفنى الفوتون. ولا يحدث تفاعل مع مجال الذرة الكهربائي إلا اذا كانت طاقة الفوتون أعلى من 1.022 MeV وهي الطاقة اللازمة لإنتاج كتلتي السكون لكل من الألكترون والبوزيترون.

فعند سقوط حزمة متوازية من أشعة جاما على المادة الممتصة كما موضح في الشكل (1) يخرج الفوتون الذي يتفاعل مع ذرات المادة بأي من العمليات الثلاث السابقة معتمدا على طاقة سقوطه، وكثافة المادة الماصة، وطبقة السمك النصفى، والعدد الذري الفعال.



الشكل (1) العوامل المؤثرة على انتقال الفوتون وتوهينه داخل المادة.

عملية التوهين خلال المادة تخضع لقانون لامبرت الذي يكتب بالشكل:

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

I_0 شدة الأشعة الساقطة على المادة. I شدة الأشعة التي اخترقت سمكا قدره x من المادة الماصة، $\mu(E)$ 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 سابقا عند طاقة معينة (E) ويكتب:

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

فاذا كانت المادة مكونة من عدة مركبات تختلف في الكثافة، يتم استبدال معامل التوهين الخطي بمعامل اخر اشمل يعرف 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 أيضا في عملية التوهين الأشعاعي والتي تعتمد على كثافة المادة وطاقة الأشعاع هي طبقة نصف القيمة (HVL)، وهي تعبر عن سماكة الطبقة التي توهن عدد اشعاعات جاما إلى نصف قيمتها الاصلية. وكلما قلت قيمة طبقة السمك النصفية تكون خصائص الحماية أفضل. لأن هذا يعني المزيد من تفاعل فوتونات جاما مع المادة. كذلك متوسط المسار الحر (MFP) الذي يشير إلى المسافة التي يقطعها الفوتون في المادة قبل أن يتعرض للتشتت وتشتيت طاقته، وبالتالي يعكس المسار الحر قدرة المادة على امتصاص الطاقة وحجبها عن الجسم المتحرك. فعندما تكون المادة لديها متوسط مسار حر قصير، فإنها تزيد من احتماليه التفاعل مع الفوتونات الساقطة وتقلل من قدرتها على اختراق الدرع، وهذا يعزز قدرة التدرج على حجب الفوتونات والحد من اضرارها.

كذلك يعتبر العدد الذري الفعال (Z_{eff}) من البارامترات المهمة التي يعتمد عليها معامل التوهين الكتلي . 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 ، و يتناسب طرديا مع الكثافة الإلكترونية الفعالة التي تعبر عن عدد الإلكترونات لكل وحدة كتلة من مادة التفاعل، فالكثافة الالكترونية العالية تعطي فرصة أفضل لتفاعل الفوتون خلال المادة، وعليه يتم تنفيذ التدرج بأشعة جاما بشكل أكثر. وعليه فان فعالية عملية التوهين ترتبط بالمواد ذات العدد الكتلي الذري العالي والكثافة العالية [24]. 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 جاما [26-28].

5. مشكلة الدراسة وأهميتها

الخوف من التطبيقات الإشعاعية المستخدمة في الكثير من المجالات الطبية والبحثية والصناعية، أدى الي البحث عن وسائل حماية اشعاعية ذات فاعلية جيدة وتصلح للتطبيق في مختلف المجالات. فكانت ولازلت المواد الخرسانية هي أكثر الوسائل المستخدمة كدرع اشعاعية لسهولة تشكيلها ولتكاليفها القليلة ، ولكنها لم تكن على القدر الكافي من الاستخدام ، فأدى ذلك إلي البحث عن بدائل مناسبة ، فكانت المواد الزجاجية هي البديل الأنسب لما تتميز به من خائص فيزيائية وكيميائية جيدة ، والتي يمكن تعديلها بسهولة عن طريق تقنية التركيب والتحضير، بالإضافة إلى ذلك، تتمتع هذه الأنظمة بالقدرة على تطعيمها بكميات كبيرة من المعادن الثقيلة التي اثبتت كفاءة عالية كمواد فعالة للحماية ، صديقة للبيئة ، كما يمكن إعادة تدويرها مرة أخرى .

6. هدف الدراسة

تعتبر أكاسيد المعادن الثقيلة محل دراسة للكثير من الباحث لمعرفة قدرة هذه الاكاسيد على تعزيز الحماية من أشعة جاما نظرا لما تملكه من عدد ذري مرتفع ومتوسط وزن جزيئي عالي، مما يجعل النظام الزجاجي يمتلك كثافة عالية، لذلك قمنا في هذه الدراسة بإضافة كل من أكسيد الأنثيمون Sb_2O_3 وأكسيد الحديد Fe_2O_3 وأكسيد البزموت Bi_2O_3 . لمعرفة تأثير كل منهم على بارامترات الحماية الاشعاعية لنظام زجاج فوسفات الزنك والالومنيوم الرصاصي

7. المواد وطرق العمل

تم استخدام العديد من الاكاسيد الثقيلة في هذه الدراسة بحسب خواصها الفيزيائية والكيميائية وهي كالآتي:

أكسيد الرصاص: وجود الرصاص في الزجاج يزيد من معامل الانكسار. ويقلل للزوجة، ويزيد من المقاومة الكهربائية. ويزيد من قدرة الزجاج على امتصاص اشعة جاما والاشعة السينية. [29] كما يلعب أكسيد الرصاص دورين مهمين، اولها تعديل الشبكة الزجاجية عند وجوده بكميات منخفضة، والأخر دوره في تشكيل الشبكة الزجاجية عند وجوده بكميات كبيرة، وعادةً ما يصل محتوى أكسيد الرصاص في زجاج الرصاص العادي إلى حوالي (24.4% mol)، وفي زجاج الدرع الاشعاعي يصل عادةً إلى (70 % mol). ويكون أكسيد الرصاص الثنائي والرابعي ذو الصيغة Pb_3O_4 واحد من أكثر أنواع الرصاص المستخدم في صناعة الزجاج [15]. وبالتالي فهو يعزز خصائص الزجاج الذي يدخل ضمن تركيبه، وهذا بسبب كثافته العالية وعدده الذري المرتفع. [30]

أكسيد الفوسفات (خامس أكسيد الفسفور) P_2O_5 : يتكون الزجاج الفوسفاتي من خامس أكسيد الفسفور ذو الصيغة الكيميائية (P_2O_5) الذي يعتبر من الأكاسيد المشكلة للزجاج والمكون الرئيسي للزجاج الفوسفاتي، وهو ذو بنية هندسية فضائية، يأخذ شكل متعدد وجوه رباعي PO_4 [31] .

كيميائيا: يعتبر الزجاج الفوسفاتي رديء الاستقرار الكيميائي، أي ان قدرته على مقاومة تأثير الأحماض وغيرها من العوامل الجوية الضارة والعوامل الكيميائية بشكل عام ضعيفة، ولغرض تحسين هذه الخاصية فان دراسات وأبحاث حديثة

بينت ان إضافة بعض أكاسيد المعادن مثل MgO , NaO_2 , ZnO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 تؤدي إلى زيادة في استقراره الكيميائي ومقاومته للتآكل، كما ان إضافة أكسيد الفلزات القلوية إلى الشبكة الزجاجية تعزز المتانة الكيميائية للزجاج الفوسفاتي.[32]

حرارياً: يعتبر الزجاج الفوسفاتي رديء التوصيل حرارياً وذا معامل تمدد حراري مرتفع[31] . ولكن من جهة أخرى فإن للأكاسيد المغيرة للشبكة المشكلة للزجاج الفوسفاتي، أو الأيونات المضافة التي يتم استخدامها لغرض التحسين الكيميائي للزجاج الفوسفاتي قد تؤثر على خواصه الحرارية ويمكن أن تزيد من توصيله الحراري[33] .

أكسيد الزنك ZnO: وهو يماثل أكسيد الكالسيوم في مفعوله تقريباً في الزجاج فيما عدا أنه يعمل على زيادة اللزوجة وتحسين الخواص الحرارية للزجاج وزيادة درجة مقاومته لتأثير المواد الكيميائية المختلفة (التحمل الكيميائي) والزجاج المحتوي على أكسيد الزنك يزيد معامل انكساره أكثر من الزجاج المحتوي على أكسيد الكالسيوم.[32]

كبريتات الصوديوم: تعتبر أحد مصادر أكسيد الصوديوم NaO_2 وهو أحد المواد الأكثر استخداماً في التطبيقات الطبية، فعند إضافته إلى الزجاج فإنه يقلل من معدلات التبلور، ويخفض درجات حرارة الانصهار [34].

وبناء على الدراسات السابقة فإن أنظمة الزجاج المكونة من أكاسيد المعادن الثقيلة مثل التي تحتوي على أكسيد الرصاص أو أكسيد البزموت وأكسيد الأنثيمون وأكسيد الحديد وغيرها، تظهر درجة عالية من المقاومة الإشعاعية بسبب كثافتها العالية وعددها الذري المرتفع، لذا تم اضافتها في هذه الدراسة بنسب قليلة لتعمل كوسيط زجاجي لتعديل خصائص نظام فوسفات الزنك والصوديوم الرصاصي وتعزيز قدرته لإمتصاص فوتونات جاما اثناء تفاعلها مع المادة.

1.7 تجهيز العينة

تم خلط الاكاسيد المستخدمة في هذه الدراسة جيداً في بواتق من البورسلين حسب النسب الوزنية المحددة لتجهيزها لعملية الصهر، وضعت بعد ذلك في الفرن عند $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة ساعتين، ثم رفعت الحرارة تدريجياً الي $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة ثلاث ساعات. بعد ذلك صببت العينات في بواتق مسخنة عند $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ، وتركت لتبرد عند درجة حرارة الغرفة. بعد ذلك تم حساب كثافة العينات بطريقة ارشيميدس، وادرجت قيم الكثافة مع متوسط الوزن الجزيئي المحسوب من خلال برنامج Phy-x/ PSD في الجدول (1) للعينات الأربعة.

الجدول (1) قيم الكثافة ومتوسط الاوزان الجزيئية للعينات الأربعة.

Composition in Wt %									
Sample	Pb3O4	P2O5	ZnO	Na2SO4	Fe2O3	Sb2O3	Bi2O3	Density g/cm ³	Average molecular weight (g/mol)
S1	60	32	3	5	-	-	-	5.44	466.32
S2	60	29	3	5	3	-	-	5.81	466.86
S3	60	29	3	5	-	3	-	6.27	470.81
S4	60	29	3	5	-	-	3	6.77	476.05

8. النتائج والمناقشة

من الجدول (1) وبملاحظة قيم الكثافة ومتوسط الوزن الجزيئي، نلاحظ ان العينة S4 كانت الأعلى كثافة بين العينات، تلتها S3 ، ثم S2 ، وأخيراً جاءت العينة S1 بأقل كثافة. وهذه النتائج تعطينا مؤشر مبدئياً على ان العينة S4 سوف يكون لها أفضل بارامترات تدريج اشعاعي فيما بعد.

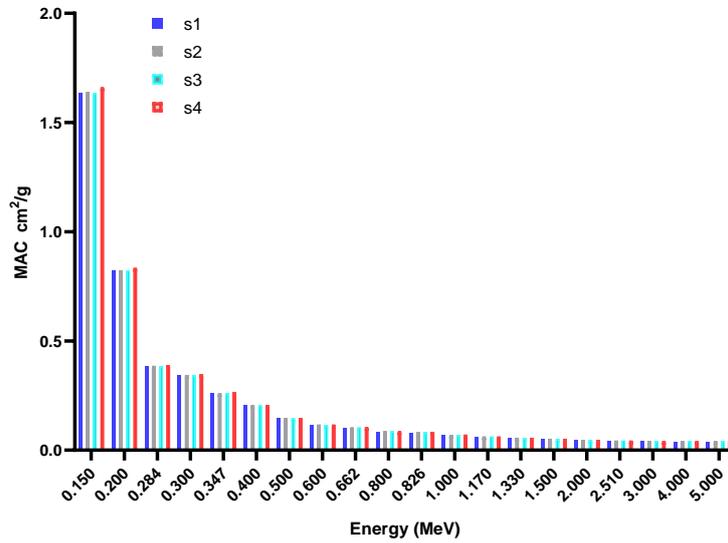
القيم الكبيرة لمعامل التوهين الكتلي (MAC)، والعدد الذري الفعال (Zeff) والكثافة الالكترونية الفعالة (Neff) مطلوبة لأجل الحصول على خصائص حماية اشعاعية أفضل، وبالمقابل فإن القيم الصغيرة لطبقة نصف القيمة (HVL)، ومتوسط المسار الحر (MFP)، وطبقة السمك العاشر (TVL) مهمة لأجل الحصول على دروع اشعاعية ذات صفات وخصائص جيدة. لذلك تم وضع قيم البارامترات (Neff, Zeff, MAC) في الجدول (2) ورسمت قيم معامل التوهين الكتلي للعينات الأربعة في الشكل (2) ، اما قيم (HVL , TVL, MFP) ادرجت في الجدول (3) وتم رسم قيم طبقة نصف القيمة ومتوسط المسار الحر بيانياً في الشكل (3) والشكل (4) على الترتيب . جميع قيم البارامترات تم حسابها باستخدام برنامج المحاكاة Phy-x ، واختيرت طاقات محددة لأشعة جاما هي المنبعثة من عنصري الكوبالت 60 والسييزيوم 137. اما تفاعلات الأشعاع مع المادة (تأثير كومبتون والتأثير الكهروضوئي، وتأثير إنتاج الزوج)، تم حسابها باستخدام برنامج X-COM، وأدرجت في الجدول (4)، ورسمت بيانياً في الشكل (5) في مدى طاقة يتراوح من (0.15 – 5 MeV) وهو المدى الذي يحوي الطاقات السبعة المنبعثة من عنصري الكوبالت والسييزيوم .

الجدول (2) يوضح بارامترات التوهين (الخطي والكتلي والعدد الذري الفعال).

Energy (MeV)	Mass Attenuation Coefficient (MAC)				Effective Atomic number (Zeff)				Effective Electron density (Neff) (E+23)			
	(cm ² /g)											
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
0.284	0.385	0.385	0.383	0.389	56.57	56.81	56.91	57.53	5.00	4.98	4.94	4.94
0.347	0.261	0.261	0.260	0.264	50.86	51.13	51.27	51.88	4.50	4.48	4.45	4.46
0.662	0.103	0.103	0.103	0.104	37.63	37.93	38.13	38.61	3.33	3.32	3.31	3.32
0.826	0.082	0.082	0.082	0.083	35.09	35.38	35.59	36.03	3.10	3.10	3.09	3.09
1.17	0.061	0.061	0.061	0.061	32.53	32.82	33.03	33.42	2.88	2.87	2.87	2.87
1.33	0.056	0.056	0.056	0.056	32.06	32.34	32.56	32.93	2.84	2.83	2.83	2.83
2.51	0.043	0.043	0.043	0.043	33.28	33.56	33.79	34.18	2.94	2.94	2.93	2.94

الجدول (3) يوضح بارامترات (متوسط المسار الحر وطبقة السمك النصفية وطبقة السمك العاشر)

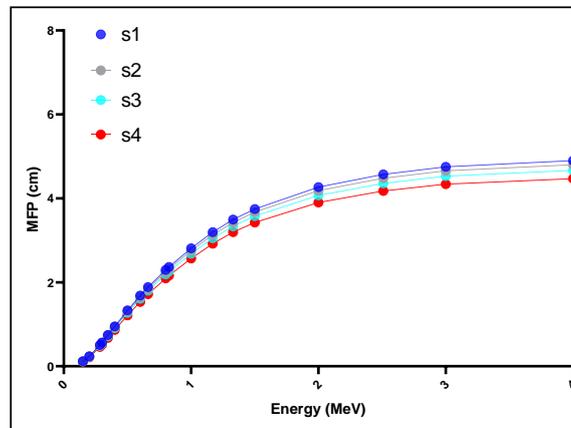
Energy (MeV)	Mean Free Path (cm)				Half Value Layer (cm)				Tenth Value Layer (cm)			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
0.284	0.478	0.448	0.416	0.369	0.331	0.310	0.288	0.256	1.100	1.030	0.958	0.850
0.347	0.703	0.659	0.613	0.544	0.488	0.457	0.425	0.377	1.620	1.518	1.410	1.253
0.662	1.776	1.664	1.545	1.381	1.231	1.153	1.071	0.957	4.090	3.832	3.558	3.180
0.826	2.230	2.089	1.939	1.736	1.546	1.448	1.344	1.203	5.135	4.810	4.465	3.998
1.17	3.010	2.819	2.616	2.347	2.087	1.954	1.814	1.627	6.931	6.492	6.025	5.404
1.33	3.293	3.084	2.862	2.568	2.282	2.138	1.983	1.780	7.581	7.101	6.589	5.913
2.51	4.306	4.032	3.740	3.356	3.985	2.795	2.592	2.327	9.915	9.285	8.612	7.729



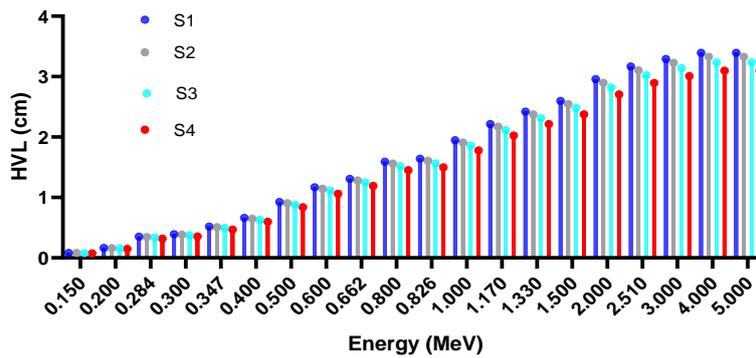
الشكل (2) يوضح مقارنة بين (معامل التوهين للتركيبات الأربعة) بيانياً.

الجدول (4) قيم تفاعلات التوهين (تأثير كومبتون والتأثير الكهروضوئي وتأثير انتاج الزوج)

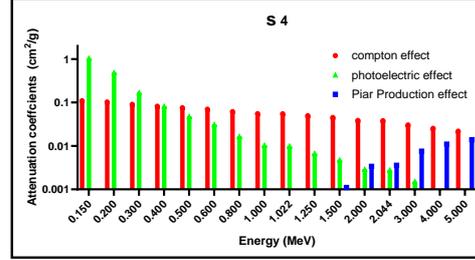
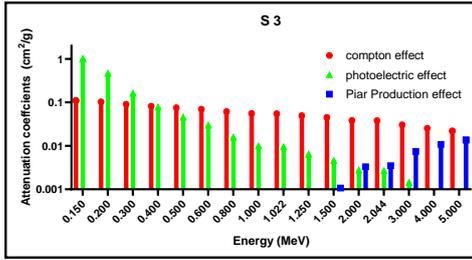
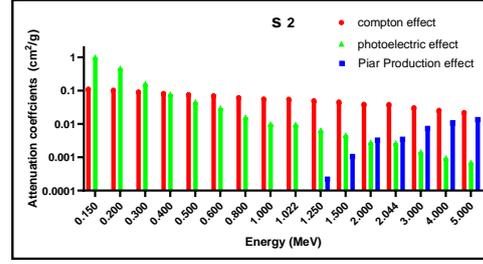
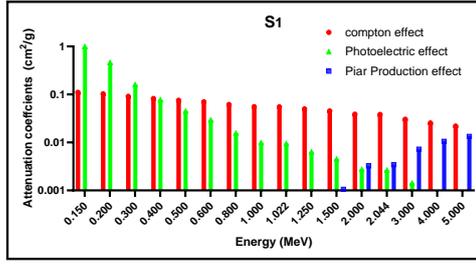
E MeV	Compton effect (cm ² /g)				Photoelectric effect (cm ² /g)				Pair production (cm ² /g)			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
0.15	0.111	0.111	0.110	0.110	0.991	0.992	1.003	1.042	0	0	0	0
0.20	0.103	0.103	0.103	0.103	0.462	0.463	0.467	0.486	0	0	0	0
0.30	0.091	0.091	0.091	0.091	0.160	0.160	0.162	0.168	0	0	0	0
0.40	0.082	0.082	0.082	0.082	0.077	0.077	0.078	0.0813	0	0	0	0
0.50	0.076	0.076	0.075	0.075	0.045	0.045	0.045	0.0474	0	0	0	0
0.60	0.070	0.070	0.070	0.070	0.029	0.030	0.0297	0.0310	0	0	0	0
0.80	0.062	0.062	0.062	0.061	0.016	0.016	0.0158	0.0165	0	0	0	0
1.00	0.056	0.056	0.056	0.056	0.010	0.010	0.0099	0.0104	0	0	0	0
1.02	0.055	0.055	0.055	0.055	0.009	0.009	0.0095	0.0099	0	0	0	0
1.25	0.050	0.050	0.050	0.050	0.006	0.006	0.0064	0.0067	0.00021	0.00022	0.00022	0.00023
1.50	0.045	0.046	0.045	0.045	0.005	0.005	0.0046	0.0048	0.00105	0.00106	0.00107	0.00100
2.00	0.039	0.039	0.039	0.039	0.003	0.003	0.0028	0.0029	0.00324	0.00326	0.00330	0.00338
2.04	0.038	0.038	0.038	0.038	0.003	0.003	0.0027	0.0028	0.00344	0.00346	0.00350	0.00358
3.00	0.031	0.030	0.030	0.030	0.001	0.001	0.0015	0.0015	0.00727	0.00732	0.00741	0.00756
4.00	0.025	0.025	0.025	0.025	0.001	0.001	0.0009	0.0009	0.01059	0.01066	0.01080	0.01099
5.00	0.022	0.022	0.022	0.022	0.001	0.001	0.0007	0.0007	0.01339	0.01348	0.01366	0.01388



الشكل (3) يوضح مقارنة بين قيم متوسط المسار الحر للتركيبات الأربعة.



الشكل (4) يوضح مقارنة بين (طبقة نصف القيمة للتركيبات الأربعة) بيانياً.



الشكل (5) قيم تفاعلات التوهين (تأثير كومبتون والتأثير الكهروضوئي وتأثير إنتاج الزوج) بيانياً.

من الجدول (2) تبين لنا ان قيم معامل التوهين الكتلي تميل للوصول إلى أعلى قيمها عند الطاقات (0.248 , 0.347 MeV) وهي الطاقات التي تقع في المدى المحصور بين (0.15 – 0.30 MeV) تقريباً . وبزيادة الطاقة في المدى من (0.4 – 5 MeV) ، تنخفض بوضوح قيم بارامترات التوهين الكتلي تدريجياً حتى تصل الي اقل قيمة لها عند الطاقة (2.51 MeV) ، ويعتقد هذا بسبب انخفاض قيمة العدد الذري الفعال بزيادة الطاقة . حيث كانت العينة S4 لها أعلى عدد ذري فعال بعد ذلك تلتها S3 ثم S2 وأخيراً جاءت S1 . هذا ويتناسب العدد الذري الفعال 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، و من خلال الجدول (2) جاءت العينة s1 بأعلى قيمة للكثافة الإلكترونية عند الطاقات (0.248 , 0.347 MeV) تلتها العينة S2 المحتوية على أكسيد الحديد ثم العينات (S3,S4) التي كانت قيمهم متساوية تقريباً ، وبزيادة الطاقة يزداد التقارب بين قيم الكثافة الإلكترونية وهذا ما لاحظناه عند الطاقات (0.662, 826, 1.17, 1.33 MeV) ، اما عند الطاقة (2.51 MeV) كانت الكثافة الإلكترونية متساوية لجميع العينات . حيث ان انخفاض قيمة العدد الذري الفعال تؤدي الي انخفاض قيم الكثافة الإلكترونية.

من الجدول (3) والشكل (3) بينت النتائج ان قيم متوسط المسار الحر تزداد بزيادة طاقة الفوتون لأنه بزيادة طاقة الفوتون تزداد قدرته على اختراق المادة وبالتالي يؤدي هذا الي زيادة متوسط المسار الحر. وعليه بينت النتائج ان العينة (S4) المحتوية على أكسيد الزيموث هي الأقل مسار حر عن باقي العينات تلتها العينة (S3) ثم العينة (S2) وأخيراً جاءت العينة (S1) بأعلى قيمة لمتوسط المسار حر، وهذا يظهر بوضوح من خلال الشكل (3). فكلما كان متوسط المسار الحر للمادة أقل، زادت قدرة المادة على حجب فوتونات جاما وتشتيت طاقتها الحركية مما يزيد من فرصة حدوث تفاعلات توهين وامتصاص الطاقة. وهذا يساهم في زيادة كفاءة الحجب الإشعاعي وتقليل الأضرار التي يمكن أن يتعرض لها الجسم المحمي. وبالتالي، يعتبر متوسط المسار الحر مؤشراً مهماً لتقييم خصائص الدرع وفعاليتيه في الحماية من الإشعاع.

كذلك تبين لنا من الجدول (3) والشكل (4) ان العينة (S4) المحتوية على أكسيد الزيموث تمتعت بأفضل طبقة السمك النصفية وطبقة السمك العاشر، تلتها العينة (S3) ثم (S2) على التوالي، وأخيراً جاءت العينة (S1) بأكبر قيمة لطبقة السمك نصفية والسمك العاشر. ونتوقع ان الحصول على قيم صغيرة لطبقة نصف القيمة ومتوسط المسار الحر وطبقة السمك العاشر، يرتبط بكثافة العينات ومتوسط اوزانها الجزيئية الموضحة في الجدول (1)، فكلما كانت كثافة العينة الزجاجية أعلى فإنه بإمكاننا الحصول على قيم أفضل لهذه البارامترات. وعليه جاءت أفضل قيم لهذه البارامترات للعينة (S4). وهذا مؤشر على ان استبدال أكسيد السيليكون بهذه الأكاسيد لا سيما أكسيد الزيموث أدى الي تحسن في قيم بارامترات (HVL)، (TVL, MFP).

الجدول (4) والشكل (5) يبين قيم تفاعلات التوهين (تفاعلات الإشعاع مع المادة)، والتي سوف نناقشها عند ثلاثة مناطق محددة للطاقة طبقاً للجدول (4).

أولاً /منطقة التفاعلات التي تقع في مدى طاقة يتراوح من (0.15 – 0.30 MeV) ، حيث تخضع عملية التوهين في هذه المنطقة بالذات للتفاعل الكهروضوئي الذي يكون له المساهمة الأكبر في هذه العملية ، والذي يسهل الامتصاص الفعال لأشعة جاما ذات مستويات الطاقة المنخفضة من خلال التفاعلات مع الإلكترونات الموجودة في المدارات الذرية للمادة الماصة ، اما تأثير كومبتون فتكون مساهمته قليلة عند هذه الطاقات طبقاً للجدول (4) .

ثانياً / منطقة تفاعلات التوهين التي تقع في مدى طاقة يتراوح من (0.40 – 1.25 MeV) ، تخضع لتفاعل تأثير كومبتون، الذي يسيطر على عملية التوهين كليا ، بينما تفاعل التأثير الكهروضوئي يتناقص بشكل حاد بزيادة الطاقة تدريجياً كما موضح في الشكل (5) .

ثالثاً / منطقة تفاعلات التوهين التي تقع في مدى طاقة يتراوح من (1.25 – 5 MeV) يبدأ تفاعل تأثير كومبتون في الانخفاض التدريجي بزيادة طاقة فوتونات جاما، وبالرغم من ذلك تبقى له السيطرة على عملية التوهين في هذه المنطقة ، هذا وبترافق إنخفاض تأثير كومبتون مع بداية عملية إنتاج الزوج عند الطاقة (1.25 MeV) ، الذي نراه واضحا من الجدول (4) والشكل (5)، وبشكل عام فإنه بزيادة طاقة إشعاع جاما الي قيمة اعلى من 5MeV فإنه سرعان ما تصبح عملية إنتاج الزوج اهم عملية بين العمليات الثلاث ولا وجود لأي مساهمة لتفاعل تأثير كومبتون في عملية التوهين ، وعليه نقول ان عملية توهين اشعة جاما خلال هذا النظام المدروس شاركت فيها جميع تفاعلات التوهين الثلاثة كل حسب منطقة الطاقة التي يعمل فيها ، فالتأثير الكهروضوئي يكون فعال في مناطق الطاقة المنخفضة ، بينما تأثير كومبتون يعمل بقوة في منطقة الطاقة المتوسطة ، اما تأثير إنتاج الزوج فيكون اكثر فاعلية في مناطق الطاقة العالية.

تميزت العينة (S1) بالشفافية، بينما كانت العينة (S2) غير شفافة وتميل الي اللون البني القاتم، اما العينة (S3) فكانت اقل شفافية من (S1) وتميل الي اللون الأصفر، كذلك العينة (S4) كانت ذات شفافية قليلة جدا وتميل الي اللون البني المحمر. هذا ويتم اختيار درجة شفافية او عتامة زجاج الحماية بناء على نوع الاشعاع المراد حجبهِ ومستوى الحماية المطلوب. ولكن في اغلب التطبيقات فان الأولوية هي الحماية من الاشعاع. لذلك يفضل عادة ان يكون زجاج التدريع معتما بدرجات مختلفة لتحقيق التوازن بين الحماية والرؤية. ومع ذلك يجب الانتباه الي ان تصميم واختيار الزجاج الشفاف يعتمد على مستوى الاشعاع المتوقع والمتطلبات الخاصة بالحماية والرؤية في التطبيق المحدد.

9. الخلاصة والتوصيات

في هذا البحث تم دراسة تأثير استبدال أكسيد السيلكون بأكاسيد الحديد الأنثيمون والبيزموث على خواص التدريع الاشعاعي لزجاج فوسفات الزنك لصوديوم الرصاصي عند الطاقات (0.248, 0.347, 0.662, 826, 1.17, 1.33, 2.51 MeV) . بارامترات التدريع الاشعاعي (MAC) (Zeff)، (Neff) (MFP) (HVL)، (TVL) ، درست باستخدام برنامج المحاكاة PHY-X/PSD. اما تفاعلت التوهين الاشعاعي (تأثير كومبتون والتأثير الكهروضوئي وتأثير إنتاج الزوج) تم دراستها باستخدام برنامج المحاكاة X-COM. في نطاق طاقة (0.15 – 5 MeV) وهو المدى الذي يحوي الطاقة المنبعثة من عنصري الكوبالت والسيزيوم، وقد بينت النتائج ان العينة S4 المحتوية على أكسيد البيزموث كان لها أفضل بارامترات توهين عند جميع الطاقات من بين العينات جاءت بعدها العينات S3 ثم العينة S2 ثم العينة S1 على الترتيب. ومن خلال النتائج المتحصل عليها تبين لنا ان استبدال أكسيد الفوسفات بأكاسيد المعادن الثقيلة لا سيما أكسيد البيزموث كان له دور في تحسين خصائص التدريع الاشعاعي. وعليه نتوقع الحصول على معاملات حماية اشعاعية أفضل بزيادة نسبة الاكاسيد الثقيلة في هذا النظام، وعليه نوصي بالتالي:

- اختيار المعدل المناسب من الإضافات لتناسب تطبيق معين وربما حتى مزج المعدلات المختلفة للحصول على التركيبة المناسبة التي تمنح الدرع خواص ومميزات أفضل.
- استخدام برامج المحاكاة هي الطريقة الأكثر فعالية والاقل جهدا وتكلفة لتقييم المخاليط المختلفة.

Reference

- [1] Singh N, Singh KJ, Singh K, Singh H. Gamma-ray attenuation studies of PbO-BaO-B2O3 glass system. Radiation Measurements. 2006; 41(1):84-88.
- [2] Kaewkhao J, Limsuwan P. Mass attenuation coefficients and effective atomic numbers in phosphate glass containing Bi2O3, PbO and BaO at 662 keV. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2010;619(1-3):295-297.
- [3] Kurudirek M, Özdemir Y, Şimşek Ö, Durak R. Comparison of some lead and non-lead based glass systems, standard shielding concretes and commercial window glasses in terms of shielding parameters in the energy region of 1 keV-100GeV: A comparative study. Journal of Nuclear Materials. 2010;407(2):110-115.

- [4] Kirdsiri K, Kaewkhao J, Chanthima N, Limsuwan P. Comparative study of silicate glasses containing Bi₂O₃, PbO and BaO: Radiation shielding and optical properties. *Annals of Nuclear Energy*. 2011;38(6):1438-1441.
- [5] Singh K, Singh H, Sharma V, Nathuram R, Khanna A, Kumar R, et al. Gamma-ray attenuation coefficient in bismuth borate glass. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2002;194(1):1-6.
- [6] Singh K, Singh H, Sharma G, Gerward L, Khanna A, Kumar R, et al. Gamma-ray shielding properties of CaO-SrO-B₂O₃ glasses. *Radiation Physics and Chemistry*. 2005;72(2-3):225-228.
- [7] Singh S, Kumar A, Singh D, Thind KS, Mudahar GS. Barium-borate-flyash glasses: As radiation shielding materials. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2008;266(1):140-146.
- [8] Limkitjaroenporn P, Kaewkhao J, Limsuwan P, Chewpraditkul W. Physical, optical, structural and gamma-ray shielding properties of lead sodium borate glasses. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 2011;72(4):245-251.
- [9] K. Kirdsiri, J. Kaewkhao, N. Chanthima, P. Limsuwan. "Comparative Study of Silicate Glasses Containing Bi₂O₃, PbO and BaO": Radiation Shielding and Optical Properties, *Ann. Nucl. Energy* 38 (2011) 1438-1441.
- [10] Abbas J. Al-Saadi, and Abbas K. Saadon. "Gamma Ray Attenuation Coefficients for Lead Oxide and Iron Oxide Reinforced In Silicate Glasses as Radiation Shielding Windows", *Ibn Al-Haitham Jour. for Pure & Appl. Sci.*, Vol. 27 (3) (2014)
- [11] Rao, C. N. R., Rao, K. J., & Gopalakrishnan, J. (1985). *Physical chemistry of solids. Annual Reports Section " C"(Physical Chemistry)*, 82, 193-245.
- [12] W. David Kingery, H. K. Bowen, Donald R. Uhlmann, "Introduction to Ceramics", 2nd ed. (1976)
- [13] Gupta, Sandeep, and Gurdeep Singh Sidhu. "Study of Photon Interaction Parameters for Some Oxide Glasses as Gamma Ray Shielding Materials." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol 4*.
- [14] Alomairy, S., Alrowaili, Z. A., Kebaili, I., Wahab, E. A., Mutuwong, C., Al-Buriahi, M. S., & Shaaban, K. S. (2022). Synthesis of Pb₃O₄-SiO₂-ZnO-WO₃ glasses and their fundamental properties for gamma shielding applications. *Silicon*, 14(10), 5661-5671.
- [15] Albarzan, Badriah, et al. "Effect of Fe₂O₃ doping on structural, FTIR and radiation shielding characteristics of aluminium-lead-borate glasses." *Progress in Nuclear Energy* 141 (2021): 103931.
- [16] El-Maaref, A. A., Alotaibi, B. M., Alharbi, N., El-Rehim, A. A., & Shaaban, K. S. (2022). Effect of Fe₂O₃ as an aggregate replacement on mechanical, and gamma/neutron radiation shielding properties of phosphoaluminate glasses. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(8), 3117-3127.
- [17] Shahboub, A., El Damrawi, G., & Saleh, A. (2021). A new focus on the role of iron oxide in enhancing the structure and shielding properties of Ag₂O-P₂O₅ glasses. *The European Physical Journal Plus*, 136, 1-17.
- [18] Shaaban, K. S., Al-Baradi, A. M., Ali, A. M., & Alotaibi, B. M. (2022). Thermal, optical, and gamma/neutron radiation absorption of PbO-P₂O₅-SiO₂-Na₂O-Fe₂O₃ glasses. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 1909-1921
- [19] Zoulfakar, A. M., Abdel-Ghany, A. M., Abou-Elnasr, T. Z., Mostafa, A. G., Salem, S. M., & El-Bahnaswy, H. H. (2017). Effect of antimony-oxide on the shielding properties of some sodium-boro-silicate glasses. *Applied Radiation and Isotopes*, 127, 269-274.
- [20] Allahmoradi, N., Baghshahi, S., & Rajabi, M. (2017). The role of Sb₂O₃ on the physical and structural properties of PbO-SiO₂ glasses. *Journal of Ceramic Processing Research*, 18(9), 691-695.
- [21] Akhdar, H. (2023). Theoretical Investigation of the Influence of Different Heavy Metal Oxides Modifiers on ZnO-Bi₂O₃-B₂O₃-SiO₂'s Photon-and Neutron-Shielding Capabilities Using the Monte Carlo Method. *Applied Sciences*, 13(16), 9332.
- [22] Abouhaswa, A. S., Mhareb, M. H. A., Alalawi, A., & Al-Buriahi, M. S. (2020). Physical, structural, optical, and radiation shielding properties of B₂O₃-20Bi₂O₃-20Na₂O₂-Sb₂O₃ glasses: Role of Sb₂O₃. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 543, 120130.

- [24] [23] 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.
- [25] [24] 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.
- [25] 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.RADPHYS CHEM.2021.109556.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Shackelford, James F., and Robert H. Doremus. "Ceramic and glass materials." JF Shackelford, RH Doremus (2008): 28-329.
- [30] Abouhaswa, A. S., Perişanoğlu, U., Tekin, H. O., Kavaz, E., & Henaish, A. M. A. (2020). Nuclear shielding properties of B₂O₃–Pb₃O₄–ZnO glasses: multiple impacts of Er₂O₃ additive. *Ceramics International*, 46(17), 27849-27859.
- [31] El-Egili, K., Doweidar, H., Moustafa, Y. M., & Abbas, I. (2003). Structure and some physical properties of PbO–P₂O₅ glasses. *Physica B: Condensed Matter*, 339(4), 237-245.
- [32] Sahaya Baskaran, G., Little Flower, G., Krishna Rao, D., & Veeraiah, N. (2007). Structural role of In₂O₃ in PbO-P₂O₅-As₂O₃ glass system by means of spectroscopic and dielectric studies. *Journal of alloys and compounds*, 431(1-2), 303-312.
- [33] Serio, L. (2016). Effect of glass compositional variables on the structure and properties of phosphate glass/polyamide 11 hybrids (Doctoral dissertation, London South Bank University).
- [34] Hussein, K. I., Alqahtani, M. S., Alzahrani, K. J., Alqahtani, F. F., Zahran, H. Y., Alshehri, A. M., ... & Yousef, E. S. (2022). The effect of ZnO, MgO, TiO₂, and Na₂O modifiers on the physical, optical, and radiation shielding properties of a TeTaNb glass system. *Materials*, 15(5), 1844.