Rafidain Journal of Science
https://rsci.uomosul.edu.iq
Vol. 34, No. 2, pp. 1-7, 2025(June).

حساب معاملات التوهين لأشعة كاما في السبائك الثلاثية (Al-Cu-PbO) باستخدام برامج XCOM و Phy-X/PSD

ايناس اسماعيل مجيد **محمود أحمد حمود** **ليث أحمد نجم**
قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل
محمد السيد
قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الاسراء/ عمان/ المملكة الاردنية الهاشمية
مركز الطاقة المتجددة وتكنولوجيا البيئة/ جامعة تبوك/ تبوك 47913/ المملكة العربية السعودية

p-ISSN: 1608-9391
e -ISSN: 2664-2786

Article information

Received: 10/6/2024
Revised: 8/8/2024
Accepted: 18/8/2024

DOI: 10.33899/rjs.2025.187761

corresponding author:
ليث أحمد نجم
Prof.lai2014@uomosul.equ.iq

الملخص

تعتبر مواد الحماية من الإشعاع Shielding materials مهمة للغاية في إنتاج أو التعامل مع النظائر والمفاعلات النووية والمسرعات والمراكز الطبية وما إلى ذلك. لذلك يعد هذا البحث المقدم مخصص معاملات التوهين لأشعة كاما بواسطة السبائك المتكونة بنسب مختلفة من (Al, Cu, PbO) وذلك باستخدام برامج XCOM و Phy-X/PSD لمدى الطاقات (0.662- 1.4 MeV). تم تقييم دقة النتائج لمعاملات التوهين الخطي Linear attenuation coefficient والكتلي Mass attenuation coefficient للتأثير الكهروضوئي Photoelectric effect وتشتت كومبتون Compton scattering وإنتاج الزوج Pair production اضافة طبقة نصف القيمة (HVL) وطبقة القيمة العاشرة (TVL) ومتوسط المسار الحر (MFP) باستخدام XCOM و Phy-X/PSD. كانت التوافقات بين النماذج جيدة. وتبين أنها تعتمد على طاقة الفوتون الساقط وكثافة المادة. كان تأثير إضافة اوكسيد الرصاص PbO واضحاً.

الكلمات الدالة: امتصاص كاما، سبائك ثلاثية، معامل التوهين، XCOM، Phy-X/PSD.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المقدمة

يُوصف التدريع الإشعاعي لأشعة كاما بأنه عبارة عن تغطية معدنية مصممة للحماية من تأثير أشعة كاما المؤينة ذات قوة الاختراق العالية، ويستخدم عادةً هذا النظام في الأماكن التي يكثر فيها انبعاث أشعة كاما مثل مستشفيات الأورام ومحطات الطاقة النووية ومراكز البحوث العلمية (Mahdi *et al.*, 2013).

تعتبر الدروع الواقية من الإشعاعات والتي تعمل على توهين الإشعاع وخفض شدته، ذات أهمية كبيرة حيث يرتبط استعمالها بالأماكن التي تحتوي على مصدر إشعاع عالي الشدة، لذلك يمكن إجراء حسابات تقريبية لتصاميم الدروع المستعملة من مواد مختلفة مختارة لها أعداد ذرية مختلفة فيما بينها بتشكيلات متنوعة هدفها خفض شدة الإشعاع إلى الحدود المسموح بها ان لم يكن حجبه كليا. يعتمد تصميم هكذا دروع على نوع الإشعاع المؤين وطاقته علاوة على خصائص مواد التدريع نفسها، كما يخضع تصميمها للمواءمة بين الاعتبارات العلمية والصحية والاقتصادية (Mahdi *et al.*, 2013; Sayyed *et al.*, 2025).

تتطلب التكنولوجيا الحديثة مواد تدريع إشعاعي متطورة وفعالة في حماية الأفراد من مخاطر التعرض للإشعاع، ومن شأن ذلك أن يسهم 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 كاما 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 (Singh *et al.*, 2014; El-Mallawany *et al.*, 2018).

في هذا العمل، تم اجراء دراسة تأثير النسب المختلفة للسبائك الثلاثية على معاملات التوهين لأشعة كاما باستخدام برامج XCOM وPhy-X/PSD.

المواد والطرق

تم تصنيع سبائك ثلاثية (Al-Cu-PbO) بطريقة الصهر وبنسب وتراكيز مختلفة، كما موضح في (الجدول 1)، ودراسة خصائصها وقابليتها على توهين أشعة كاما من خلال حساب بعض المعلمات باستخدام برامج XCOM وPhy-X/PSD.

XCOM هو تطبيق قائم على الويب يقوم بحساب معاملات امتصاص الكتلة للتفاعلات الضوئية (μ_m) أو المقاطع العرضية للعناصر والمركبات والمزيج. بين عامي 1987 و1999، قام هابل Hubbell وبيرجر Berger بتطوير برنامج يسمى XCOM. يتيح برنامج XCOM للمستخدمين إدخال تركيبات مواد مختلفة وحساب كيفية تفاعلها مع الإشعاع الكهرومغناطيسي. يوفر البرنامج نتائج مفصلة تساعد في تصميم مواد الحماية من الإشعاع وتحليل مدى فعاليتها في تقليل التعرض للإشعاع. يتم استخدام هذه البيانات في مجموعة واسعة من التطبيقات بما في ذلك الطب النووي، علم المواد والحماية البيئية Medhat *et al.*, (Majeed *et al.*, 2024; 2014).

اما phy-X/PSD هو برنامج كمبيوتر تم تطويره عبر الإنترنت سهل الاستخدام لحماية الفوتونات وقياس الجرعات لحساب المعلمات المتعلقة بحماية الفوتونات وقياس الجرعات. تتكون هذه المعلمات من معامل الامتصاص الخطي ومعامل الامتصاص الكتلي (μ_L, μ_m)، ومتوسط لمسار الحر (MFP)، وطبقة القيمة النصفية وطبقة القيمة العاشرة (HVL, TVL)، وكثافة الإلكترون والرقم الذري الفعال (N_{eff}، Z_{eff})، وعوامل البناء للتعرض والطاقة الممتصة (EABF, EBF) . يمكن للبرنامج إنشاء بيانات حول معلمات الحماية في نطاق الطاقة (1keV- 100GeV). بالإضافة إلى ذلك، هناك العديد من المصادر المشعة (^{131}I, ^{152}Eu, ^{137}Cs, ^{133}Ba, ^{241}Am, ^{60}Co, ^{55}Fe, ^{109}Cd, ^{22}Na) جنبًا إلى جنب مع طاقتها وبعض طاقات الأشعة السينية المميزة (K shell) لعناصر Cu وMo وRb وAg وTb وBa متاحة في البرنامج ويمكن للمستخدم اختيارها. وبالتالي، يمكن الحصول على معلمة الحماية عند طاقات الفوتون التي يمكن الحصول عليها للطاقات المحددة مسبقًا.

يعد معامل التوهين مهما ويستخدم على نطاق واسع للحصول على معلمات التدريع، تم استخدام قانون بير لامبرت Beer- Lambert لحساب معامل التوهين الخطي μ_L (Mahmoud, 1995):

$$I = I_\circ e^{\mu_L X} \qquad \ldots\ldots\ldots (1)$$

إذ أن: I و $I_\circ$ هي شدة إشعاع الفوتون بوجود العينة وبدون وجود العينة على التوالي، ويتم حسابهم خلال فترة زمنية معينة عند سمك x، يعتبر معامل التوهين الكتلي أكثر أهمية ويعطي بالعلاقة التالية (Manohara and Hanagodimath, 2007):

$$\mu_m(cm^2/g) = \mu_L/\rho \qquad \ldots\ldots\ldots (2)$$

إذ إن: ρ هي كثافة عينة السبيكة (g/cm^3).

تم حساب طبقة نصف القيمة (HVL) وتمثل سمك المادة التي تقلل شدة الإشعاع الداخل، إلى نصف قيمته الأصلية ويعطى بواسطة العلاقة التالية (Sayyed *et al.*, 2018):

$$HVL = \frac{Ln(2)}{\mu_L} \qquad \ldots\ldots\ldots (3)$$

وتعرف طبقة القيمة العاشرة (TVL) بأنها مقياس يستخدم في الحماية الإشعاع لوصف سمك مادة معينة مطلوبة لتقليل شدة نوع معين من الإشعاع إلى 10% من قيمته الأصلية. في الأساس، إن سماكة مادة التدريع هي التي تخفف الإشعاع بنسبة 90%، ويمكن حسابها بناءً على معامل الامتصاص الخطي.

$$TVL = \frac{Ln(10)}{\mu_L} = \frac{2.303}{\mu_L} \qquad \ldots\ldots\ldots (4)$$

كما تم الحصول على متوسط المسار الحر (MFP) الذي يمثل متوسط المسافة التي يمكن للفوتون ان يقطعها على طول المسار في المادة من خلال العلاقة التالية (Davisson, 1965):

$$MFP = \frac{1}{\mu_L} \qquad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Table 1: Physical properties of prepared alloys.

Alloy code	Elemental composition (Wt. %)				Mass (g)	Length (cm)	Volume (cm^3)	Density (g/cm^3)
	O	Al	Cu	Pb				
A1	0.07168209233	90	9	0.928317907	15.6	5.1	5.765	2.70598
A2	0.14336418467	90	8	1.856635815	16.4	5.30	6.000	2.7333
A3	0.2150462770	90	7	2.7849537229	15.7	5.1	5.765	2.740
A4	0.2867283693	90	6	3.7132716306	16.8	5.2	5.878	2.8581
A5	0.3584104616	90	5	4.6415895383	15.0	4.95	5.595	2.68077

النتائج والمناقشة

من أجل تقييم خصائص التدريع لأي عينة يجب تحديد معامل التوهين الكتلي فهو المعامل الأساسي المستخدم لهذا الغرض، فالقيمة العالية لمعامل التوهين الكتلي تعني احتمالية عالية؛ لتفاعلات فوتونات كاما مع المادة وبالتالي تكون هناك فرصة أفضل للتوهين (Kaur *et al.*, 2016). وفقاً للأشكال (1 و2) تم تقييم معامل التوهين الخطي ومعامل التوهين الكتلي للسبائك الثلاثية Al-Cu-PbO باستخدام البرامج XCOM وPhy-X/PSD وكانت النتائج ان معامل التوهين الخطي يتناقص مع زيادة طاقة الفوتون وإن اضافة اوكسيد الرصاص (PbO) إلى السبيكة يؤدي زيادة معامل التوهين الخطي بشكل ملحوظ مما يدل على فعالية اوكسيد الرصاص في تخفيف إشعاعات كاما. يعتمد معامل التوهين الخطي بشكل كبير على طاقة الفوتون وكثافة المادة، ويكون التوهين أعلى عند الطاقات المنخفضة.

كما يتناقص معامل التوهين الكتلي مع زيادة طاقة الفوتون الساقط، إذ يظهر معامل التوهين الكتلي اعتماداً قوياً على طاقة الفوتون، مع توهين اعلى عند الطاقات المنخفضة.

توضح النتائج أن برامج XCOM وPhy-X/PSD توفر تقييمات مهمة وموثوقة لخصائص التوهين للسبائك الثلاثية Al-Cu-PbO، والتي تعتبر مهمة لتصميم مواد فعالة للحماية من الإشعاع. إن التأثير الكبير لمحتوى اوكسيد الرصاص على معاملات التوهين يسلط الضوء على أهميته في تطوير حلول الحماية من إشعاع جاما.

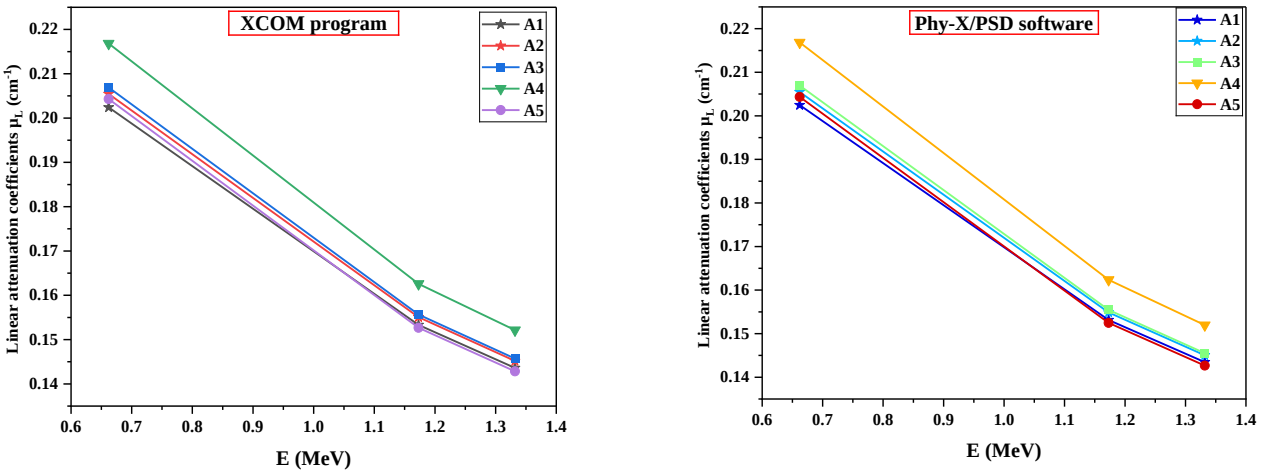

Fig. 1: Comparison of linear attenuation coefficient μ_L calculations by XCOM and Phy–X/PSD at energies 0.662, 1.173 and 1.332 MeV).

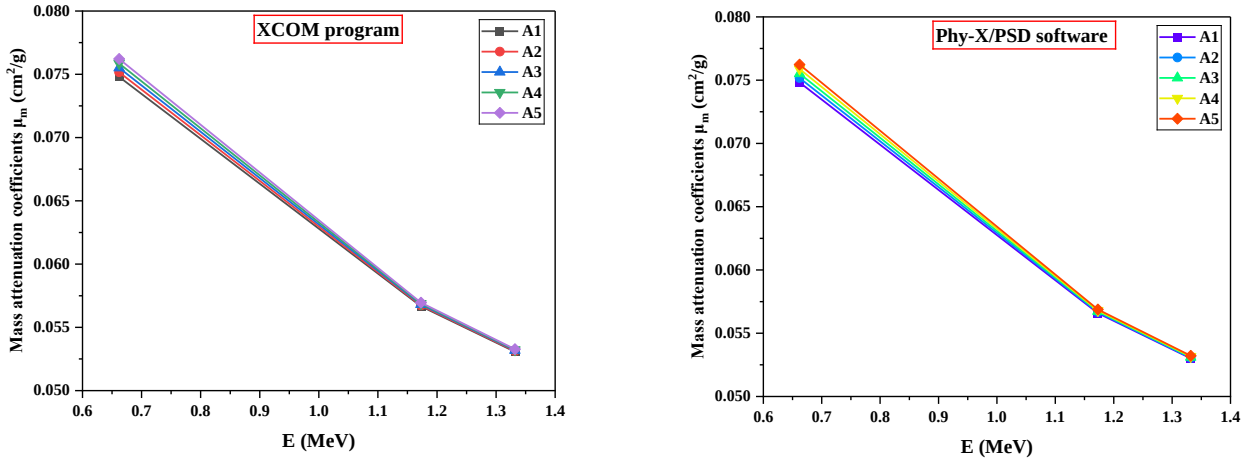

Fig. 2: Comparison of mass attenuation coefficient μm calculations by XCOM and Phy–X/PSD at energies 0.662, 1.173 and 1.332 MeV).

تم ترتيب نتائج HVL، TVL، MFP في الاشكال (3 و4 و5) على التوالي لبرامج XCOM وPhy-X/PSD في مدى طاقات (0.662 -1.44 MeV)، تظهر النتائج توافقاً ممتازاً بين نتائج برامج XCOM وPhy-X/PSD. لقد وجد أن قيم HVL، TVL، MFP منخفضة في البداية وتزداد بصورة تدريجية مع زيادة طاقة الفوتون الساقط.

يعد اعتماد المقطع العرضي للتشتت على الطاقة الساقطة أمراً ذا اهمية لشرح النتائج التي تم الحصول عليها في منطقة الطاقة المنخفضة، حيث يتناسب المقطع العرضي للتأثير الكهروضوئي عكسياً مع طاقة الفوتون الساقط، وبالتالي عند الطاقة الأعلى يكون أصغر سمك كافياً لامتصاص الفوتونات في المادة المتفاعلة، المقطع العرضي لتشتت كومبتن في منطقة الطاقة الوسطى، يختلف مع طاقة الفوتون الساقط، والسبب هو الاعتماد الضعيف لقيم المقطع العرضي على قيم الطاقة، قيم HVL، TVL، MFP التي تزداد ببطء بالنسبة للسبائك المستخدمة، يختلف المقطع العرضي للأزواج (الكترون– بوزترون) من الناحية اللوغاريتمية مع الطاقة الساقطة في منطقة الطاقة الاعلى، لذلك مع زيادة طاقة الفوتون يزداد احتمال تفاعل الفوتون عبر انتاج الزوج (الكترون– بوزترون) بشكل كبير.

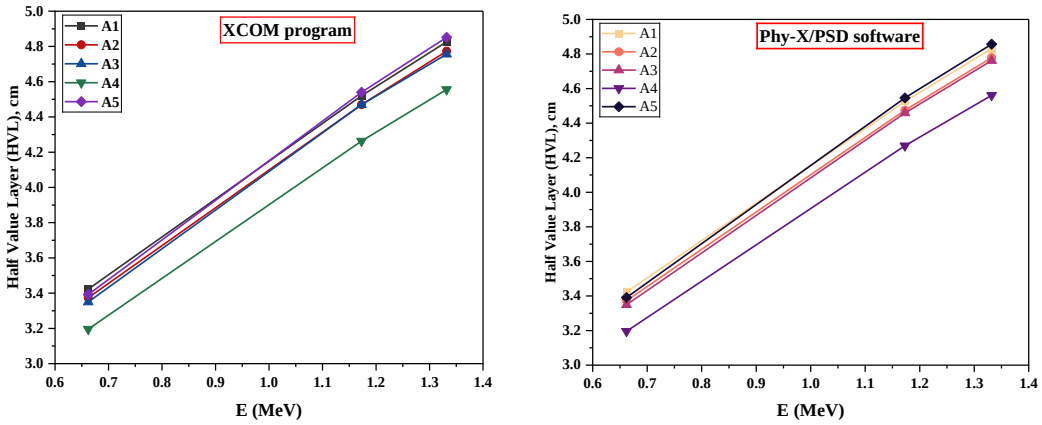

Fig. 3: Comparison of half value layer HVL calculations by XCOM and Phy–X/PSD at energies 0.662, 1.173 and 1.332 MeV).

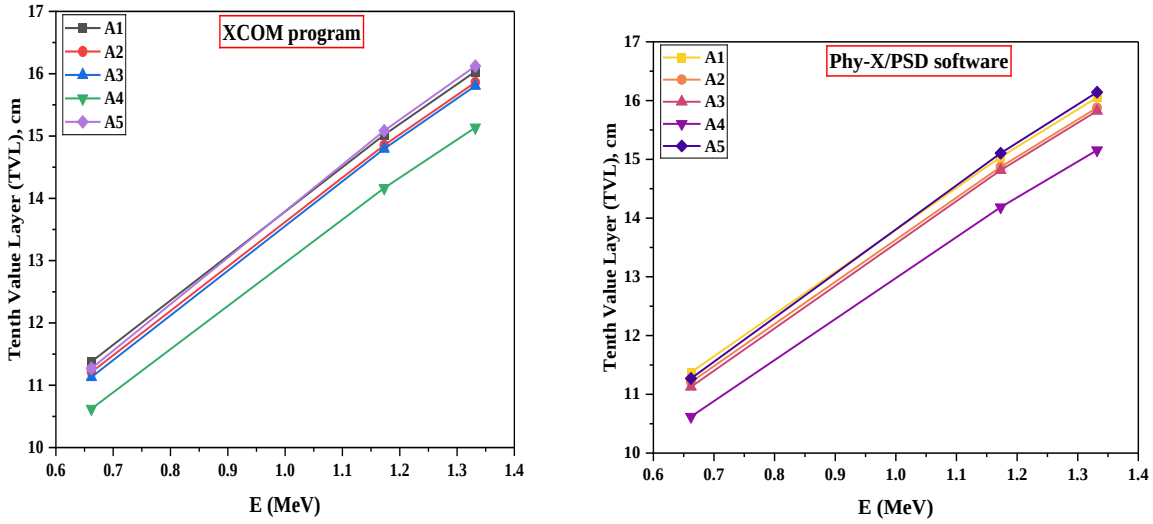

Fig. 4: Comparison of the tenth value layer TVL calculations by XCOM and Phy–X/PSD at energies (0.662, 1.173 and 1.332 MeV).

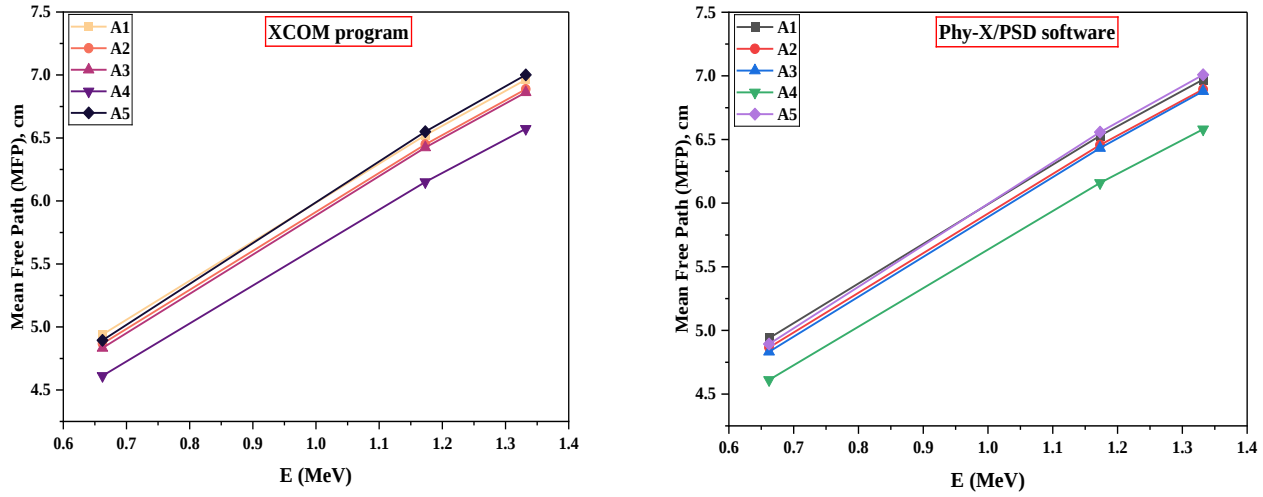

Fig. 5: Comparison of the mean free path MFP calculations by XCOM and Phy–X/PSD at energies 0.662, 1.173 and 1.332 MeV).

الاستنتاجات

في هذه الدراسة، تم دراسة معاملات التدريع لعينات السبائك المحتوية على Al, Cu, PbO بتراكيز مختلفة باستخدام برامج XCOM وPhy-X/PSD بمدى طاقات (0.662-1.4 MeV). أظهرت النتائج وجود توافق جيد بين حسابات XCOM وPhy-X/PSD. وبهذا كشفت هذه الدراسة ان السبائك التي تمت دراستها تمتلك خصائص حماية، وبالتالي فهي مرشحة جيدة لاستخدامها للحماية من الاشعاع. وبشكل عام، فأن اوكسيد الرصاص (PbO) يتمتع بخصائص فيزيائية وذرية مميزة، مثل الكثافة العالية والرقم الذري المرتفع والكتلة الذرية الكبيرة، مما يجعله عنصرًا رئيسيًا في تحسين خصائص التدريع الإشعاعي للسبائك Al-Cu-PbO.

الشكر والتقدير

يعبر الباحثون عن شكرهم وتقديرهم الى قسم الفيزياء/ كلية العلوم/ جامعة الموصل/ العراق وذلك للجهود المبذولة في دعم البحث العلمي وتوفير البيئة بهدف إنتاج المعرفة.

المصادر

Davisson, C.M. (1965). “Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy”. North Holland, Edited by: Kai Siegbahn, Elsevier, DOI: 10.1016/C2009-0-07296-1

El-Mallawany, R.; Sayyed, M.I.; Dong, M.G.; Rammah, Y.S. (2018). Simulation of radiation shielding properties of glasses contain PbO. *Rad. Phys. Chem.*, **151**, 239-252. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2018.06.035

Kaur, P.; Singh, D.; Singh, T. (2016). Heavy metal oxide glasses as gamma rays shielding material. *Nuc. Eng. Des.*, **307**, 364-376. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2016.07.029

Mahdi, K.H.; Ahmed, Z.S.; Mokhaiber, A.F. (2013). Study of gamma ray buildup factor for different composites. *Acad. Sci. J.*, **9**(3).

Mahmoud, H.M.; Hok, A.S.; Armia, E.; Eltaher, A.M. (1995). Gamma-ray absorption and scattering coefficients for two sedimentary rocks. *Indian J. Pure Appl. Phys.*, **33**, 332-344.

Majeed, E.I.; Najam, L.A.; Hamood, M.A.; Mahmoud, K.A. (2024). A comprehensive study on the γ-ray shielding performance of Al–Cu–PbO alloy: Experimental and simulation studies. *Nuc. Eng. Tech.*, **57**(1), 103124. DOI: 10.1016/j.net.2024.07.055

Manohara, S.R.; Hanagodimath, S.M. (2007). Studies on effective atomic numbers and electron densities of essential amino acids in the energy range 1 keV–100 GeV. *Nuc. Instrum. Meth.*

Phys. Res. Sect. B: Beam Inter. Mat. Atoms, **258**(2), 321-328. DOI: 10.1016/j.nimb.2007.02.101

Medhat, M.E.; Pires, L.F.; Arthur, R.C.J. (2014). Analysis of photon interaction parameters as function of soil composition. *J. Radi. Nuc. Chem.*, **300**, 1105-1112. DOI: 10.1007/s10967-014-3028-y

Sayyed, M.I.; Najam, L.A.; Mahmoud, K.A.; Namaq, B.F.; Wais, T.Y.; Yasser, M. (2025). Uncovering the potential of ZnO and CaO in shielding and density enhancement for borate glass systems. *Ann. Nuc. Energy*, **214**, 111231. DOI: 10.1016/j.anucene.2025.111231

Sayyed, M.I.; Issa, S.A.; Tekin, H.O.; Saddeek, Y.B. (2018). Comparative study of gamma-ray shielding and elastic properties of $BaO–Bi_2O_3–B_2O_3$ and $ZnO–Bi_2O_3–B_2O_3$ glass systems. *Mater. Chem. Phys.*, **217**, 11-22. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2018.06.034

Singh, K.J.; Kaur, S.; Kaundal, R.S. (2014). Comparative study of gamma ray shielding and some properties of $PbO–SiO_2–Al_2O_3$ and $Bi_2O_3–SiO_2–Al_2O_3$ glass systems. *Radia. Phys. Chem.*, **96**, 153-157. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2013.09.015

Calculation of Gamma-Ray Attenuation Coefficients in the Ternary Alloys (Al-Cu-PbO) Using XCOM and Phy-X/PSD Programs

Enas I. Majeed **Mahmood A. Hamood** **Laith A. Najam**

Department of Physics/ College of Science/ University of Mosul

Mohammed I. Sayyed

Department of Physics/ Faculty of Science/ Isra University/ Amman/ Jordan

Renewable Energy and Environmental Technology Center/ University of Tabuk / Tabuk 47913/ Saudi Arabia

ABSTRACT

Radiation shielding materials are of utmost importance in the production or handling of radioisotopes, nuclear reactors, accelerators, medical centers, and so on. Therefore, the present research is dedicated to the attenuation coefficients of gamma rays by alloys composed of different proportions of (Al, Cu, PbO) using the XCOM and Phy-X/PSD programs for the energy range (0.662-1.4 MeV). The accuracy of the results for the linear and mass attenuation coefficients for the photoelectric effect, Compton scattering, and pair production, as well as the half-value layer (HVL), tenth-value layer (TVL), and mean free path (MFP) were evaluated using XCOM and Phy-X/PSD. The agreements between the models were good. It was found that they depend on the incident photon energy and material density. The effect of adding lead oxide PbO was significant.

Keywords: Gamma-ray absorption, ternary alloys, attenuation coefficients, XCOM, Phy-X/PSD.