

العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية $FWHM$ وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني

أ.د. عبد الهادي صوفان⁽¹⁾ أ.د. عماد بدوي⁽²⁾ هدى الدروبي^{(3)*}

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث - حمص - سوريا

الملخص

تم في هذا البحث تحليل الطيف المركب (المدمج) (convoluted spectrum) لعمر البوزيترون إلى عدة طيوف تمثل المركبات والمعلومات الأساسية المتعلقة بحسابات عمر البوزيترون مثل قدرة الفصل الزمنية وتوابع غاوص الرياضية الأساسية والخلفية الطبيعية وأعمار البوزيترون والبوزيترونيوم وبارامترات أخرى، والمقارنة فيما بينها باستخدام تقانة PALS وبرامجها (Mathematica12 و Scilab و PALSfit).

تم تحليل الطيف المركب البوزيتروني في الموليبدنيوم إلى عدة توابع ومركبات أوجدنا منها برمجياً وتحليلياً قدرات الفصل الزمنية لتابعي غاوص، وتم دراسة العلاقة بين (Exponential) ESG و (Gaussian Function) $FWHM$ و (Full Width at Half Maximum) $FWHM$ برمجياً بهدف معرفة قيم $FWHM$ وذلك بهدف الحصول على معلومات عن النظير المشع المستخدم ^{22}Na وعمر البوزيترون والبوزيترونيوم ووجدنا أن قيمها هي (301.5 ps , 439.9 ps)، بالإضافة إلى احتمال كل منها في الطيف ووجدنا أن قيمها (74.87% , 25.1%).

استخدمنا النتائج السابقة في حساب قيم مركبات أعمار البوزيترون ووجدناها تساوي ($\tau_1 = 103 ps$, $\tau_2 = 234.8 ps$, $\tau_3 = 674.5 ps$)، وأوجدنا احتمال كل مركبة ($I_1 = 100\%$, $I_2 = 97.45\%$, $I_3 = 2.54\%$)، كما حسبنا قيمة عمر البوزيترون للمنبع فوجدنا قيمته $333.3 ps$ ، وتمت مقارنة هذه النتائج مع القيم المرجعية النظرية [1] فوجدنا توافقاً إلى حد كبير حيث كان متوسط العمر يساوي $330 ps$ في المراجع [1,2].

الكلمات المفتاحية: البوزيترون - الموليبدنيوم - طيف البوزيترون - عمر البوزيترون - تابع غاوص الأساسي - قدرة الفصل الزمنية.

(1) أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث.

(2) أستاذ في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة المنيا - المنيا مصر

(3) طالبة دكتوراه فيزياء إشعاعية - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة البعث.

The Relationship Between the Time Resolution *FWHM* and the Gaussian Function Used in the Positron Annihilation

Dr. Abd al hadi Soufan Dr. Emad Badawi Huda Al Droubi

Physics Department - Science College - AL Baath University - Homs - Syria

Abstract

In this paper, the convoluted positron lifetime spectrum has analyzed into several spectra representing the components and basic information related to the positron lifetime calculations such as *FWHM*, Gaussian exponential functions, background, the positron and positronium lifetimes, and other parameters, and compared with each other using PALS technology and its programs(PALSfit , Scilab and Mathematica12).

The convoluted positron spectrum of Molybdenum has analyzed into several functions and components. We have found programmatically and analytically from them the *FWHM* of Gaussian functions, The relationship between *ESG* and *FWHM* was studied programmatically in order to know the values of *FWHM*, in order to obtain information about the radioactive isotope used ^{22}Na and the lifetime of the positron and positronium, we found that their values are (301.5 ps, 439.9 ps), in addition to the probability of each of them in the spectrum and we found that Its values are (74.87%, 25.1%).

We have used the previous results to calculate the values of the components of the positron lifetimes, we have found their values ($\tau_1 = 103 \text{ ps}$, $\tau_2 = 234.8 \text{ ps}$, $\tau_3 = 674.5 \text{ ps}$), and we have found the probability of each component ($I_1 = 100\%$, $I_2 = 97.45\%$, $I_3 = 2.54\%$) and we have calculated the source positron life time 333.3 ps then we have compared these results with the theoretical reference values[1] and we have found agreement to a large extent where the average lifetime was equal to 330 ps in the references [1,2].

Keywords: positron – Molybdenum – positron spectrum – positron lifetime– exponential Gaussian function – time resolution.

1- مقدمة:

الفناء البوزيتروني فرع جديد وهام جداً من فروع علم الفيزياء النوويّة، يدرس بنية المادّة وعيوبها ، ويهدف إلى تحسين بنية المادة أو مميّزاتها وإلى كشف العيوب التي تعاني منها المادة من خلال معرفة عمر البوزيترون في المادة، وهي أداة لا تخريبية لدراسة المادّة ولها تطبيقات في الحياة العمليّة وفي العديد من مجالات العلوم والتكنولوجيا وفي المجال الطبي.

تُستخدَم تقانة مطيافية الفناء البوزيتروني (PALS Positron Annihilation) Lifetime Spectroscopy) لدراسة خصائص المواد، حيث تعكس بارامترات الفناء خصائص الوسط المُضيف. بدأ البحث في فيزياء البوزيترونات في وقت مبكر من الخمسينيّات، عندما تم التعرف على المعلومات التي حصل عليها Dumond، Roichings ، Bendetti ، حول خصائص بعض المواد عن طريق دراسة عمر البوزيترون. وعلى وجه الخصوص ، ما قام به Mckenize أثناء اكتشافه للتأثيرات المتبادلة بين البوزيترونات والشوائب في الأجسام الكريستالية [3,4].

تستخدم تقانة PALS لإجراء أبحاث على (دراسة) خصائص الالكترن والشوائب الموجودة في المواد، عند درجات حرارة منخفضة أو مرتفعة والتحويلات التي تحصل في السبائك وأنصاف النواقل والبوليمرات ،.. الخ . وقد امتدت تطبيقاتها من دراسة المشاكل المتقدمة في فيزياء علم المواد. كما استُخدمت على نطاق واسع أيضاً في مجالات عدة كالكيمياء، البيولوجيا، الطب. تُعتبر تقانة PALS من الطرق النووية المُثلى لدراسة عيوب الشبكة البلورية، فعملية القياس لا تتأثر في معظم الأحيان بخصائص العينة المدروسة ، كما أن PALS غير تخريبية عند الاختبار مما يسمح بدراسة العينة نفسها مرة أخرى بطرق أخرى [5].

أجرى ZHIYONG,Z وزملاؤه بحثه للتحقق من العيوب المتشكلة في الموليبيدينوم فدرس بارامترات الفناء ووجد أن الفراغات تتشكل ضمن مجال درجة الحرارة محدد [6]، ودرس NAMBISSAN,P et al الموليبيدينوم باستخدام تقانة PALS فوجد أن عمر

البوزيترون $\tau_1 = 158 \pm 2$ ps من أجل $I_1 = 60\%$ ولاحظ ازدياد قيمة τ_2 ضمن مجال درجة الحرارة (300 – 800)K وانخفاضها عند 1300K [7] , أما MUKHERJEE,S وزملاؤه فقد أجرى دراسته على سبائك اليورانيوم موليبدينوم عند درجة حرارة 1173K ووجد انخفاضاً في قيمة τ_2 [8] , ووجد TROEV,T وزملاؤه عند دراسته لعمر البوزيترون لعينة من الموليبدينوم المشعّ بنبترونات طاقتها 14 MeV أنه عند درجة حرارة أكبر من 650 K تزداد قيمة τ_2 لتصبح 287 ps [9] , كما لاحظ كل من MOGENSEN,O و THRANE,N وزملاؤهما عند دراستهم للعيوب المتشكلة في بلورات الموليبدينوم ازدياداً في قيمة τ_2 [10,11] , أما THRANE,N et al. فقد درس العلاقة بين حجم الفراغ وعمر البوزيترون في الموليبدينوم المشع بالنبترونات فوجد أن قيمة τ_2 تبقى ثابتة عندما يتراوح حجم الفراغ في المجال $(9 - 45)A^\circ$ [12] , وعندما درس ELDRUP,M et al. عينات الموليبدينوم المشعّة بالكترونات طاقتها 10 MeV باستخدام تقنية مطيافية البوزيترون وجد أن الفراغات تزداد بكثافة عند درجات حرارة مرتفعة 1173 K [13] , وعند دراسة عينات الموليبدينوم المشعّة بنبترونات سريعة عند درجة حرارة 333 K من قبل PETERSEN,K et al. وجد أن الفراغات تتشكل عند درجة حرارة مرتفعة أعلى من 853 K [14] , وعند دراسة PUGH,B et al. للموليبدينوم المشع بنبوترونات سريعة فوجد انخفاضاً في قيمة τ_2 بازدياد درجة الحرارة [15] , إن نشوء فراغات ناتجة عن النيوترونات السريعة في المعادن أمر مثير للقلق بسبب ما تفرضه هذه الحالة من قيود على تصميم مفاعلات الطاقة السريعة وهذا ما لاحظته COTTERILL,R et al. عند دراسته عينات الموليبدينوم فلاحظ تشكل الفراغات وازدياد حجمها عند التشعيع بنبوترونات سريعة [16].

يوجد عدة برامج حاسوبية مُستخدمة لتحليل طيف عمر البوزيترون نذكر منها PALSTFIT و POSITRONFIT و PATFIT , وهي برامج مصممة بشكل خاص لدراسة طيف البوزيترون وموجودة في العديد من الجامعات حول العالم.

البوزيترونات جسيمات مشحونة وبالتالي فهي حساسة للشحنة التي توجد في الفراغ المحيط بها, وعندما يتواجد البوزيترون في منطقة ذات كثافة الكترونية عالية سيكون عمره صغيراً مقارنةً مع المنطقة التي تكون فيها الكثافة الالكترونية أقل. وعندما يتصادم الالكتران والبوزيترون فإنهما يتفانيان وتتحول كامل كتليتهما إلى طاقة ويتوقف عدد فوتونات غاما الناتجة عن الفناء على الكيفية الدقيقة لحدوث الفناء, يمكن ان يحدث الفناء بين البوزيترونات والالكترونات الحرة وهو ما يُسمى الفناء الحر أو عن طريق يشكل البوزيترون حالة شبه مستقرة مع الالكتران وهو ما يُسمى البوزيترونيوم.

يتشكل البوزيترونيوم Ps عندما تتناقص طاقة الالكتران في الوسط إلى أقل من 10 eV , البوزيترونيوم حالة شبه مستقرة ناتجة عن ارتباط البوزيترون مع الالكتران برابطة ضعيفة $e^- \dots e^+$ بحيث يدور كل منهما حول الآخر, فيصبح لدينا ذرة مشابهة لذرة الهيدروجين مع استبدال البروتون بالبوزيترون, وهناك نلاحظ الحالتين التاليتين:

- 1- البارابوزيترونيوم $p - Ps$: يكون للبوزيترون والالكتران سبينين متعاكسين.
- 2- الأورثوبوزيترونيوم $o - Ps$: يكون سبين كل من البوزيترون والالكتران بالجهة نفسها.

يمكن قياس عمر البوزيترون من خلال قياس الفارق الزمني بين أشعة غاما المتولدة عن المنبع المشع وبين إحدى إشعاعي غاما الناتجة عن عملية الفناء ذات الطاقة 0.511 MeV .

يتم اصطياد البوزيترونات في عيوب الحجم المفتوح للحبيبات كما في الفجوات (الفراغات) بسبب انخفاض الكثافة الالكترونية في العيب فتتغير قيمة عمر البوزيترون عن القيمة القياسية. وترتبط شدة مركبات عمر البوزيترون مباشرةً بتركيز العيوب.

تعطي دراسة سلوك البوزيترونات في المادة الكثير من معلومات تتعلق بالخصائص الالكترونية والكهربائية ... وخصائص أخرى للمادة وتكشف عن العيوب والشوائب

العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية $FWHM$ وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني

المختلفة الموجودة في المادة. إن سلوك البوزيترون الذي يسبق الفناء له انعكاس قوي على شكل طيف العمر. فمثلا في المعادن الحرة يكون لعمر البوزيترون مركبة وحيدة تتراوح بين $(80 - 300)$ ps وفي أنصاف النواقل $(100 - 500)$ ps [1].

ومن خلال خصائص طيف عمر البوزيترون يمكننا استنتاج آلية التأثير المتبادل بين البوزيترونات والكترونات المادة.

الطريقة الرياضية لتابع غاوص المستخدم:

يتكون الطيف النظري من مجموع عدة طيوف يمثل كل طيف مركبة أو أكثر وهذه المركبات ممكن أن تكون منفصلة عن بعضها أو ملتقة (مدمجة convoluted).

يُعبّر عن المركبة المنفصلة للطيف C_{dis} بالعلاقة:

$$C_{dis} = \frac{I}{\tau} \exp(-t/\tau) \quad (1)$$

تعتمد هذه المركبة على بارامترين هما I احتمال المركبة و τ عمر البوزيترون.

تُعطى المركبة الملتقة للطيف C_{con} بالعلاقة:

$$C_{con} = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda I \lambda \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

تتكون هذه المركبة من تكامل المنحنيات مع التوزيع اللوغاريتمي العادي الموضح بالعلاقة التالية:

$$L_n(\lambda) d\lambda = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp\{-[\ln(\lambda) - \ln(1/\tau_0)]^2 / (2\sigma^2)\} \lambda^{-1} d\lambda \quad (3)$$

تعتمد المركبة المستمرة للطيف على ثلاث بارامترات نموذجية هي: I احتمال intensity (مساهمة) المركبة و τ متوسط العمر الزمني للبوزيترون و σ الانحراف المعياري عن متوسط العمر و λ معدل فناء البوزيترون والمعروفة بالعلاقات التالية:

$$\tau = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda \lambda^{-1} = \tau_0 \exp(\sigma^2/2) \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} L_n(\lambda) d\lambda (\lambda^{-1} - \tau)^2 = \tau_0 [\exp(\sigma^2) - 1] \quad (5)$$

يمكن استخدام نموذجين لتابع قدرة الفصل الزمنية لتقريب الشكل الحقيقي لهذا التابع؛ النموذج الأول هو مجموع توابع غاوص، في هذه الحالة يتم التعبير عن الحل R بمجموع ثلاثة حدود:

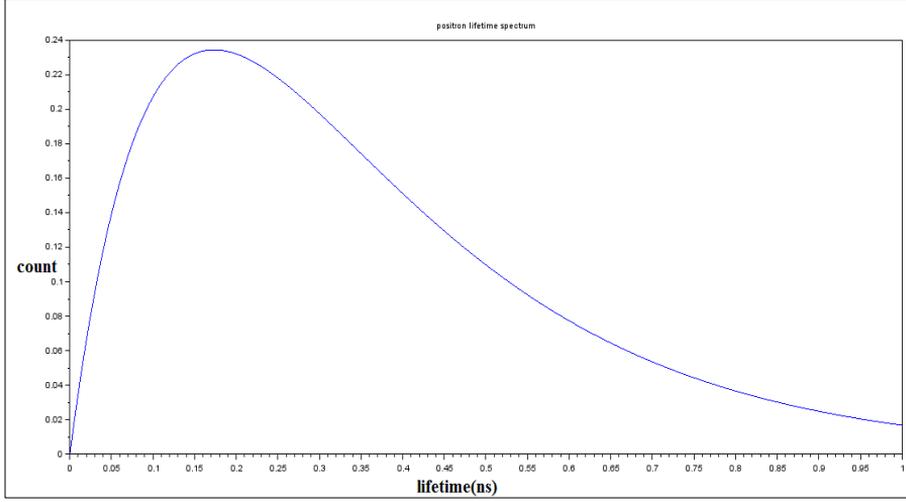
$$R = f_0 G(t; FWHM_0, 0) + f_1 G(t; FWHM_1, \Delta_1) + f_2 G(t; FWHM_2, \Delta_2) \quad (6)$$

حيث $G(t; FWHM, \Delta)$ هو تابع غاوص الزمني يتمركز في Δ , $FWHM$ (Full Width at Half Maximum) العرض الكامل عند منتصف القيمة العظمى (ويدل على قدرة الفصل الزمنية)، f_i العامل النسبي للحد رقم i .

النموذج الثاني لتابع الحل هو تابع غاوص الأسي (ESG Exponential Sided) $Gaussian$ function وهو تابع رياضي يمثل اندماج (التفاف) تابع غاوص مع تابعين أسيين التي يمكننا من خلاله تقريب تابع قدرة الفصل الزمني:

$$R = G(FWHM) \otimes \exp(-t/\tau_l) \otimes \exp(-t/\tau_r) \quad (7)$$

حيث τ_r, τ_l تشير إلى بعض ثوابت تسمى τ - يسار و τ - يمين على الترتيب كما هو موضح في الشكل (1)، والرمز \otimes يشير إلى الجداء المباشر للتوابع الأسية الملتقة:



الشكل(1): مركبتي العمر الزمني للطيف τ_r, τ_f المندمجتين

من أجل تابع غاوص الأول تأخذ العلاقة (1) في المادة التي تحوي مركبة واحدة الشكل التالي:

$$C(t) = \exp\left(-\frac{t}{\tau_b}\right)$$

حيث τ_b عمر البوزيترون عندما يحوي الطيف تابع غاوص وحيد [17].

من أجل تابع غاوص وحيد $G(t)$ مركزي عند t_0 (الزمن عند ذروة التابع الغاوصي):

$$G(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\sigma}\right)^2\right] \quad (8)$$

ويمكن أن نعبر عن العرض الكامل عند ذروة التابع الغاوصي $FWHM$ بالعلاقة:

$$FWHM = 2 \sigma \sqrt{\ln 2} \quad (9)$$

حيث: σ الانحراف المعياري كما ذكرنا سابقاً.

2- هدف البحث:

دراسة العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية وتابع غاوص الرياضي المستخدم في الفناء البوزيتروني بحساب قدرات الفصل الزمنية $FWHM$ لتتابع غاوص الملتفة (المندمجة) ESG لايجاد أكبر عدد ممكن من مركبات عمر البوزيترون والبوزيترونيوم واحتمالاتها باستخدام البرامج التالية: PALSfit و Mathematica12 و Scilab.

3- مواد وطرق البحث:

3-1- برنامج PALSfit:

هو برنامج حاسوبي يستخدم لتحليل أطياف عمر البوزيترون والتتابع المتعلقة بها. وهو من البرامج العالمية التي تُستخدَم على نطاق واسع من قبل الباحثين في هذا المجال. يتكون البرنامج من وحدتين وهما وحدة خاصة بقدرة الفصل الزمنية والثانية خاصة بعمر البوزيترون ResolutionFit و PositronFit.

والبرنامج موجود في قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة البعث.

3-2- برنامج Mathematica12 :

هو أحد لغات البرمجة يتميز بأنه يمكننا وبسهولة من تحديد عملية حسابية معقدة للغاية بحيث لا يستطيع أي كمبيوتر القيام به في أمر واحد فقط، ونحصل من خلاله على عدد كبير جداً من النتائج.

يستخدم Mathematica خوارزميات فعّالة للغاية ومحسّنة. ولكن هناك بعض المهام التي تتطلب خوارزمياتها الأكثر شهرة دائماً وقتاً كبيراً.

وهذا البرنامج يستخدمه عدد كبير من طلاب جامعة البعث في أبحاثهم.

3-3- برنامج Scilab :

برنامج SCILAB للحساب الرقمي مهمته المحاكاة والنمذجة، ويمتاز بأنه يتعامل مع كل العمليات الحسابية على أنها مصفوفات، ويمتاز بقدرة كبيرة على رسم الخطوط البيانية وتحليلها وتركيبها ودمجها وهو نسخة مطورة تجمع بين برامج عديدة. كما يحتوي SCILAB على مئات الدوال الرياضية، مما يجعلنا نحصل من خلاله على نتائج أكثر دقة من البرامج الأخرى.

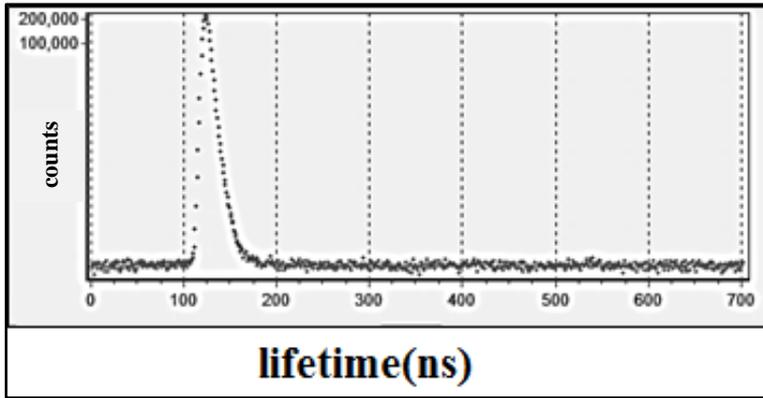
4- النتائج والمناقشة:

1-4- تحليل ومحاكاة طيف عمر البوزيترونيوم [18] باستخدام برنامج $PALSTfit$:

لقد كان هذا العمل شاقاً واستمر لفترة طويلة خاصة أننا استخدمنا لإنجازه ثلاثة برامج حاسوبية مما تطلب وقتاً طويلاً.

اعتمدنا في هذا البحث البرامج الحاسوبية المبنية أعلاه بالإضافة إلى برنامجي $scilab$ و $Mathematica$ وباستخدام المطابقة (المقايسة) الزمنية الغاوصية اللاخطية لتحليل الطيف المرجعي [18].

تم إجراء دراسة تحليلية ومحاكاة برمجية لطيف العمر المرجعي المختار (طيف عمر البوزيترون في الموليبيدينوم والذي تم قياسه من خلال مطيافية ذات منبع ^{22}Na بين رقيقتين من الألمنيوم Al) الشكل (2) الذي يتصف بتجميع مقداره 2096269 counts/s وقدرة فصل زمنية كلية ثابتة قيمتها (0.280 ns) ، اعتبرنا ذروة الطيف عند القناة 123.127 counts/s التي اعتبرناها مبدأ للقياسات، يتألف الطيف المرجعي من مجموعة من الطيوف (غير الواضحة) الملتفة مع بعضها والتي يحمل كل منها معلومات هامة المبينة أدناه.



الشكل(2): الطيف المرجعي للموليبيدينوم

قمنا بتحليل هذا الطيف وأوجدنا مركباته من خلال المطابقة بين العلاقات النظرية لطيف عمر البوزيترون والطيف التجريبي المرجعي [18], تم فصل طيف الخلفية الطبيعية وكان العد فيه مساوياً 186.47 counts/ns وأوجدنا الزمن في كل قناة (0.05 ns/ch.) برمجياً، كما تم إيجاد طيوف توابع غاوصيان الرياضي مع قدرات الفصل الزمنية والاحتمالات لكل منها بالإضافة إلى طيف العمر للنظير المشع وطيف العمر للركيزة وطيف العمر الأساسي المدروس... الخ .

كما تم إيجاد وحساب مركبات عمر البوزيترون والبوزيترونوم τ , والاحتمالات الموافقة I لوجود كل منها في الطيف، وقدرات الفصل الزمنية الـ $FWHM$ و توابع غاوص الأسيّة ESG لكل منها. تم تقدير قدرة الفصل الزمنية $FWHM$ من أجل كل من المنبع المشع ^{22}Na والعينة (Mo) .

تم توصيف طيف قدرة الفصل الزمني بواسطة تابعين غاوصيين [18] برمجياً اعتبرنا الأول رئيسي لأنه يحوي المعلومات الأساسية التي نبحث عنها والثاني إضافي (لضعف احتمال وجود مركبات أخرى) فوجدنا أن قيم قدرات الفصل الزمنية للتابع الغاوصي هي (301.5 ps , 439.9 ps) واحتمالاتها (74.8757% , 25.1%) على الترتيب الشكل(3):

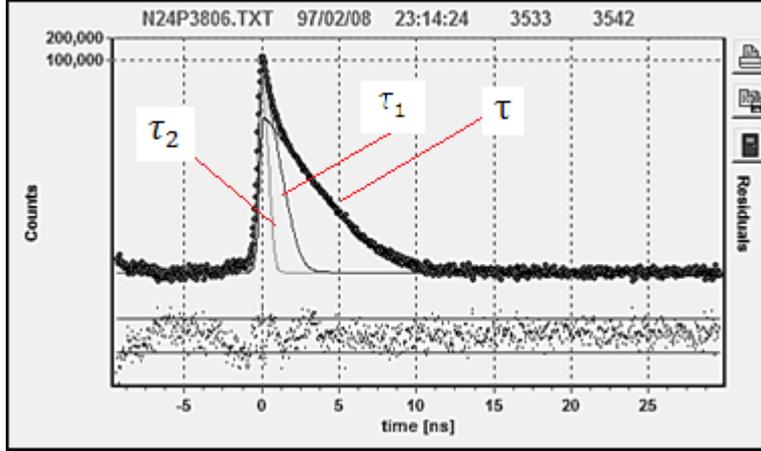
Open Base	New Base	Plot	Fit	Res	A	Repeat	Ser	STM	3STM	DTM	ETLA	?
PTFE 5.3 C reference (Mo) 50 ps/channel												
Analysed between channels 1 and 704. Calibration=0.05000 ns/chann.												
Total counts=2096269 Bkgr./signal=6.23%												
Fit's variance =1.1081 Date: 08/09/2020 02:09:14 p												
SAMPLE:												
intensities [Z] lifetimes [ns] dispersions [ns]												
100.0000 0.1030 0.0000												
SOURCE :												
contribution 35.5492 [Z]												
intensities [Z] lifetimes [ns]												
97.4506 0.2348												
2.5494 0.6745												
ZERO CHAN. 123.19189(0.00075) BACKGROUND 185.90(0.53)[Counts]												
RESOLUTION CURVE :												
ESG fract. (Z) Shift (chnns) FWHM (ns) tau(left) (ns) tau(right) (ns)												
74.8757 0.0000 0.3015 0.0000 0.0000												
25.1(14.3) 0.8750(0.0022) 0.4399 0.0000 0.0000												

الشكل(3): قيم $FWHM$ للمولبيديوم باستخدام برنامج $PALSfit$

يلخص الشكل (3) قيم مركبات تابع غاوص الأسي ESG وقيم قدرة الفصل الزمني $FWHM$ الموافقة ومركبات عمر البوزيترون التي حصلنا عليها باستخدام البرنامج, فقد وجدنا أن كل قيمة لتابع غاوص الأسي تقابلها قيمة لقدرة الفصل الزمنية.

أيضاً أجرينا محاكاة من أجل إيجاد مساهمة النظير المشع بإيجاد أعمار البوزيترون له واحتمالاتها وذلك لفصلها عن المركبات الأساسية التي تمثل سلوك البوزيترون وعمره واحتمالاتها, فأوجدنا مقدار مساهمة النظير المشع ^{22}Na في الطيف الأساسي وكانت قيمه تساوي ($\tau_1 = 333$ ps , $\tau_2 = 149.9$ ps) , تشير τ_1 إلى عمر البوزيترون لنظير الصوديوم المشع ^{22}Na وتشير τ_2 إلى عمر البوزيترون في ركيزة الألمنيوم Al وقيمة كل منهما تتفق مع قيمة عمر البوزيترون المرجعية حيث أن عمر البوزيترون يساوي 338 ps في الصوديوم وفي الألمنيوم يساوي 148 ps [2,1] , ووجدنا أن احتمالاتها ($I_1 = 13.1$ % , $I_2 = 86.9$ %) , ثم قمنا بمتابعة عملية تحليل البيانات, وثبتنا البارامترات السابقة التي حصلنا عليها وهي $\tau_1 = 103$ ps و $I_1 = 100$ % , وأوجدنا المركبات الأخرى لعمر البوزيترون ($\tau_2 = 234.8$ ps , $\tau_3 = 674.5$ ps), وأوجدنا احتمال كل مركبة ($I_2 = 97.45$ % , $I_3 = 2.55$ %), كما في الشكل (3).

يبين الشكل (4) الطيوف التي حصلنا عليها سابقاً والذي يمثل جميع الطيوف التي تم تحليلها سابقاً وبذلك نكون قد نجحنا في فصل الطيف الخاص بمركبات عمر البوزيترون عن الطيوف الأخرى:



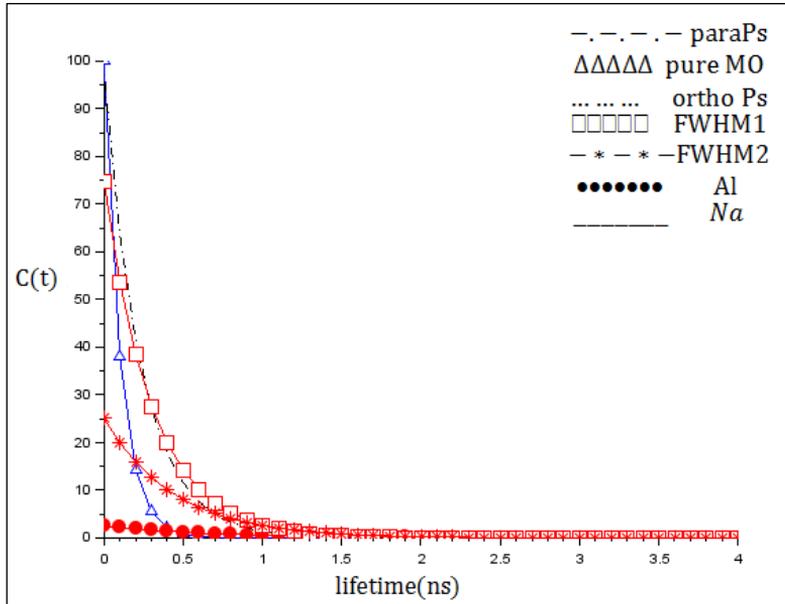
الشكل (4) طيوف توابع غاوص ومركبات العمر للمنبع والعينة وقدرات الفصل الزمنية

يلخص الجدول (1) نتائج التحليل الطيفي التي حصلنا عليها والتي تمثل قاعدة بيانات لنا يمكننا استخدامها مستقبلاً لدراسات أخرى جديدة. ويبين الجدول (1) نتائج هذا التحليل:

الجدول (1): قيم عمر البوزيترون والاحتمالات الموافقة		
Element	τ (ps)	I %
Na	333.3	13.1
Al	149.9	86.9
pure Mo	103	100
Mo(para Ps)	234.8	97.45
Mo(ortho Ps)	674.5	2.55
FWHM1	301.5	74.87
FWHM2	439.9	25.1

2-4- معالجة الطيوف المتعلقة ب عمر البوزيترونيوم في الموليبيدينوم باستخدام برنامج *Scilab* بيانياً:

بعد استنتاج وإيجاد البارامترات والمركبات والتوابع المتعلقة بطيف عمر البوزيترون الالتفافية التي قمنا بفصلها باستخدام برنامج *PALSfit* والتي يحمل كل منها معلومات مختلفة عن الأخرى تم استخدام برنامج *Scilab* لرسم هذه الطيوف ومقارنتها مع النتائج التجريبية المماثلة المرجعية الشكل (5):



الشكل(5): طيف عمر البوزيترون للموليبيدينوم باستخدام برنامج *Scilab*

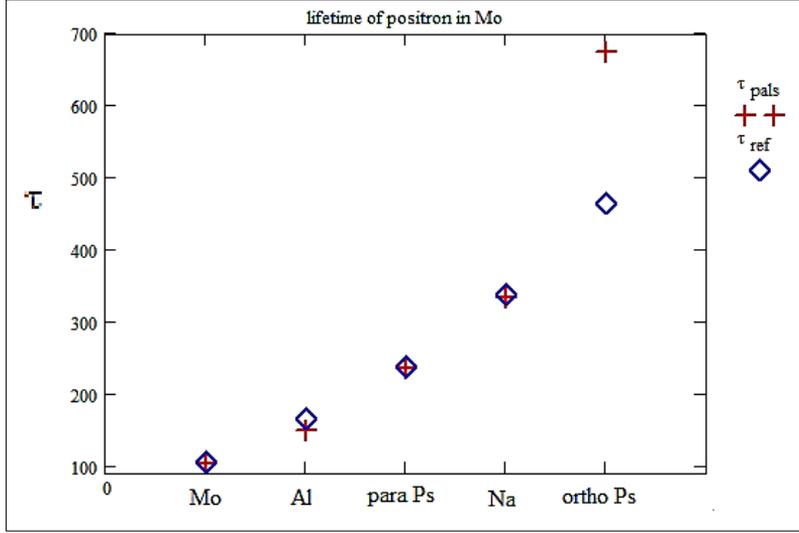
يمثل الشكل (5) توابع غاوصيان - مركبات النظير- مركبات العينة , (333.3 , 439.9 , 301.5 , 674.5 , 234.8 , 103 , 149.9 , واحتمالاتها , 86.9% (25.1% , 74.87% , 2.55% , 97.45% , 100% , 13.1% والتي تمثل العلاقات (1, 2, 4, 6, 7, 9).

3-4- مقارنة النتائج التي حصلنا عليها باستخدام برنامج *PALSfit* والقيم المرجعية: يوضح الجدول (2) مقارنة قيم عمر البوزيترون والبوزيترونيوم مع القيم المرجعية: *PALSfit* والتي استخدمناها في دراستنا مع القيم المرجعية:

Element	الجدول(2): مقارنة قيم عمر البوزيترون والبوزيترونيوم مع القيم المرجعية		
	القيم التي حسبناها باستخدام <i>PALSfit</i>		exp. [1,2,18]
	I %	τ (ps)	τ (ps)
Na	13.1	333.3	338
Al	86.9	149.9	165
pure Mo	100	103	106
Mo(para Ps)	97.45	234.8	237
Mo(ortho Ps)	2.55	674.5	546

نلاحظ من الجدول (2) أن القيم المحسوبة من قبلنا قريبة إلى حد كبير من القيم المرجعية [2,1].

قمنا برسم المنحني البياني الذي يمثل قيم أعمار البوزيترون للموليبدينوم بدلالة الاحتمالات الموافقة والتي حصلنا عليها باستخدام برنامج *PALSfit* ومقارنتها بالقيم المرجعية كما هو موضح في الشكل (6) التالي:



الشكل (6) : قيم عمر البوزيترون في الموليبيدينوم بدلالة الاحتمالات الموافقة

يبين الشكل (6) مقارنة بين قيم عمر البوزيترون لكل من الموليبيدينوم والألمنيوم والصوديوم التي قمنا بحسابها والقيم المرجعية وقمنا بمقارنة هذه النتائج التي حصلنا عليها فتبين أن القيم التي حصلنا عليها مطابقة إلى حد جيد جداً مع القيم الموجودة في المراجع العلمية [2,1]، كما وجدنا أن هناك اختلاف بين قيمة عمر الأورثو بوزيترونيوم التي حصلنا عليها والتي تساوي 674.5 ps وقيمتها المرجعية التي تساوي 465 ps .

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1- الاستنتاجات:

- 1- وجدنا أن قيم قدرة الفصل الزمنية FWHM لتتابع غاوص الرياضية التي حصلنا عليها برمجياً باستخدام برنامج PALSfit تساوي (301.5 ps للمركبة الأولى, 439.9 ps للمركبة الثانية) والممثلة بالعلاقات (9,7,6).
- 2- قمنا بإيجاد المركبة التي تمثل عمر البوزيترون للنظير المشع ^{22}Na ووجدنا أنه يساوي (333 ps) وكان هناك تطابق إلى حد كبير مع القيمة التجريبية والنظرية المرجعية [2,1] والتي تساوي 338 ps .
- 3- أوجدنا مركبة لعمر البوزيترون ومركبتين لعمر البارا والأورثو بوزيترونوم τ_2 و τ_3 في الموليبيدينوم Mo باستخدام برنامج PALSfit ووجدناها تساوي ($\tau_2 = 234.8$ ps , $\tau_3 = 670$ ps) تدل هذه القيم على وجود عيوب في العينة المأخوذة من الطيف المرجعي [18] وهي توافق إلى حد كبير القيم التجريبية والنظرية المرجعية التي تساوي $\tau_2 = 237$ ps [5,4].
- 4- وجدنا أن احتمال المركبة الأولى لقدرات الفصل الزمنية الجزئية لتتابع غاوصيان ESG هي (74.8757%) واحتمال المركبة الثانية (25.1%).
- 5- وجدنا أن قيم احتمال النظير المشع في الطيف الذي تم فصله برمجياً تساوي ($I_1 = 13.1\%$, $I_2 = 86.9\%$).
- 6- وجدنا أن قيم احتمالات مركبات عمر البوزيترون ($I_2 = 34.6\%$, $I_3 = 0.91\%$) في حين أن احتمال عمر البوزيترون في الطيف للعينة النقية $I_1 = 100\%$.
- 7- تأكدنا من النتائج السابقة فقمنا برسم طيوف كل مركبة بشكل مستقل عن الأخرى باستخدام برنامج Scilab فوجدنا تطابقاً في طيف الموليبيدينوم الشكلين (5,4) .
- 8- وجدنا أن لكل قيمة لقدرة الفصل الزمنية FWHM يوجد قيمة لتابع غاوص الأسّي ESG ويزداد قيمة FWHM تنقص قيمة ESG .

5-2- التوصيات:

نوصي بما يلي:

- 1- توسيع هذه الدراسة لتشمل معادن أخرى غير الموليبيدينوم مثل الألمنيوم والحديد والنحاس ... والاستفادة منها في مجالات علمية وعملية أخرى.
- 2- دراسة عمر البوزيترون في البوليميرات لما لها من تطبيقات كثيرة في مجال العلوم.
- 3- إجراء دراسات أخرى تشمل بارامترات أخرى غير التي قمنا بدراستها مثل الطاقة والعدد وزوايا انحراف البوزيترون و درجة الحرارة والضغط وتأثير تغييرها على قيمة τ .

المراجع

- [1]- Campillo Robles , J M and etal 2007 Positron lifetime calculation for the elements of the periodic table, **J. Phys.: Condens. Matter** **19** (20pp).
- [2]- BORONSKI,E 2010 Positron lifetime calculations for some elements on the base of the GGA-PHNC approximation, **NUKLEONIKA** 55(1):9–12.
- [3]- SAYED AHMED, E 2008- **Characterization of Control Mesoporous Glasses (CPGs) Using Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS)**. Halle/Saale, 107.
- [4]- WANG, H.B. et al 2020 A new SiPM-based positron annihilation lifetime spectrometer using LYSO and LFS-3 scintillators, **Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A** 960 (2020).
- [5]- DRYZEK, 2020 J. On the Reconstruction of the Mean Positron Lifetime Obtained from the Sequential Chemical Etching Procedure, **ACTA PHYSICA POLONICA A** Vol. 137, 196-200.
- [6]- ZHIYONG,Z et al. 1991 Positron lifetime study of proton-irradiated moly, **Institute of modern Physics**, vol 61,72-76
- [7] NAMBISSAN,P et al. 1991 Helium bubbles in molybdenum investigated by positron annihilation spectroscopy, **Radiation Effects and Defects in Solids**, vol 116.
- [8] MUKHERJEE,S et al. 2015 Positron annihilation spectroscopy of Uranium Molybdenum alloys, **Journal of Physics: Conference Series**, vol 618.
- [9]- TROEV,T et al. 1991 Positron lifetime measurements of molybdenum irradiated by 14 MeV monoenergetic neutrons, **Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Science**, vol 24.
- [10]- MOGENSEN,O et al. 1972 Effect of Voids on Angular Correlation of Positron Annihilation Photons in Molybdenum, **Nature** 239, 98–99.
- [11]- THRANE,N et al. 1977 The effect of impurities on the lifetime of positrons in voids in molybdenum, **Applied physics**, vol 12, 183–185.

- [12]- THRANE,N et al. 1977 The relationship between void size and positron lifetime in neutron irradiated molybdenum, **Applied physics A** , vol 12, 187–189.
- [13]- ELDRUP,M et al. 1976 A positron annihilation study of the annealing of electron irradiated molybdenum, **Journal of Physics F: Metal Physics**, vol 6.
- [14]- PETERSEN,K et al. 1974 A positron annihilation study of the annealing of, and void formation in neutron-irradiated molybdenum, The Philosophical Magazine: **A Journal of Theoretical Experimental and Applied Physics**, vol 29, 9-23.
- [15]- PAGH,B et al. 1984 Temperature dependence of positron annihilation parameters in neutron irradiated molybdenum, **Applied Physics A** , vol 33, 255-263.
- [16]- COTTERILL,R et al. 1972 Correlation of Void Size and Positron Annihilation Characteristics in Neutron-irradiated Molybdenum, **Nature** 239, 99–101.
- [17]- PA'ZSIT,I et al. 1999 Unfolding positron lifetime spectra with neural networks, **Applied Surface Science** 149 .97–102.
- [18]- GREGORY, R 1991 Analysis of positron annihilation lifetime data by numerical Laplace inversion: Corrections for source terms and zero-time shift errors, **Nucl. Instr. and Meth.** vol 302, Issue 3 496–507.
