

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الأساسية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 15

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
د. نعيمة عجيب	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
- إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
- 2- هدف البحث
- 3- مواد وطرق البحث
- 4- النتائج ومناقشتها .
- 5- الاستنتاجات والتوصيات .
- 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
 - كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي - العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
 - ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة - الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة - سنة النشر - وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة - دار النشر وتتبعها فاصلة - الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

— بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة — المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة — أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة . مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	د. حيدر حسن المصطفى	نمذجة تأثيرات الحدث الفردي لحزمة بروتونية واردة ضمن مجال طاقي $(1\text{ KeV} - 100\text{ MeV})$ على رقاقة سيليكونية
48-29	آلاء الاحمد أ.د. عبد الهادي صوفان	تبعثر الديترونات المقدوفة بطاقة $E_D=(50-70)\text{MeV}$ بواسطة نوى النحاس (Cu^{63}) باستخدام طريقة التقريب التغيري للعزوم VMA
72-49	قمر جنيد أ.د. عبد الهادي صوفان	قدرة الفصل الزمنية المتعلقة بقياسات عمر البوزيترون
90-73	كوثر وليد الجزار أ.د. عبد الهادي صوفان	تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$ بطريقة VMA

113-91	<p>جهاد الجدعان أ.د. باسل ابراهيم د. أمينة ابراهيم</p>	<p>تقييم النشاط المضاد للتأكسد لثلاثة مستخلصات من بذور القبار الشوكي <i>Capparis spinosa</i></p>
--------	--	--

نمذجة تأثيرات الحدث الفردي لحزمة بروتونية واردة ضمن مجال طاقي (1 KeV – 100 MeV) على رقاقة سيليكونية

إعداد:

د. حيدر حسن المصطفى*

* جامعة حمص. كلية العلوم. قسم الفيزياء

الملخص:

في هذا البحث تم نمذجة تبادل التأثير لحزمة بروتونات نشطة طاقياً مع مادة الهدف (السيليكون) باستخدام برنامج COMSOL Multiphysics، بهدف دراسة تبادل الطاقة بين الأيونات الواردة والذرات ضمن مادة الهدف والذي يشكل أساس لصنف من التأثيرات المتبادلة المعروفة بشكل شائع باسم "تأثيرات الحدث الفردي" (SEEs). وذلك باستعمال ميزات مصممة في وصلة تتبع أثر جسيم مشحون. استعملت تلك الوصلة لحساب المسافة الوسطية العابرة من قبل البروتونات في السيليكون والتي تمت مقارنتها بعد ذلك مع البيانات التجريبية ضمن مجال من قيم الطاقة البدائية، وباستعمال مُتغير تابع مُساعد لحساب طول المسار لكل أيون في الهدف، يُمكن حساب المدى الوسطي للأيونات. هذا المدى الوسطي تتم مقارنته حينئذٍ مع المدى المجدول المتوقع بموجب تقريب التباطؤ المستمر (CSDA range).

تكون مسارات الجسيم محسوبة من أجل قيم طاقة بدائية تتراوح من 1 keV إلى 100 MeV . عموماً عندما تزداد الطاقة فإن الجسيمات تتحرك في مسارات أكثر خطية، بينما تباطؤهم يكون محكوماً بخسارة التأيين. عند قيم طاقة بدائية مُنخفضة فإن مسارات الأيون تكون محكومة بالتأثيرات المتبادلة النووية وتميل الأيونات لأن تتحرك في اتجاهات عشوائية.

عند زيادة طاقة الأيون البدائية فإن التوافق بين مدى (CSDA) والمدى المتوقع يتحسن لأن التناقص في طاقة الأيون يكون محكوماً بخسارات التأيين التي تسبب تباطؤ مستمر للأيونات مع مرور الزمن. وأن التوافق بين مدى (CSDA) والمدى المتوقع يتحسن أيضاً لأن خسارات التأيين لا تسبب أي تغيير في اتجاه انتشار الأيون.

الكلمات المفتاحية:

نمذجة تأثيرات الحدث الفردي، التأثير المتبادل (جسيم-مادة)، بروتون، سيليكون، خسارات التأيين، قدرة الإيقاف النووية، المدى الوسطي لجسيم.

The Modeling of Single Event Effects of the Incident Proton Beam Within Energy Range (1 KeV – 100 MeV) on the Silicon Flake

Abstract:

In this research, had been modeling the interaction of energetic proton beam with a target material (silicon) by using COMSOL Multiphysics program, for studying the exchange of energy between the incident ions and atoms within the target material, which forms the basis of a class of interactions known broadly as Single Event Effects (SEEs), that are by using dedicated features in the Charged Particle Tracing interface. These features are used to compute the average distance traversed by protons in silicon, which is then compared to empirical data over a range of initial energy values, and by using an Auxiliary Dependent Variable to compute the path length of each ion in the target, the average range of the ions is computed. This average range is then compared to the projected tabulated range under the **Continuous Slowing Down Approximation (CSDA range)**.

The particle trajectories are computed for initial energy values ranging from 1 keV to 100 MeV. In general, as the energy increases, the particles move in more linear trajectories as their deceleration is dominated by ionization loss. At lower initial energy values, the ion trajectories are dominated by nuclear interactions and the ions tend to move in random directions.

At lower initial energy, the CSDA range and projected range differ significantly because the ion trajectories are dominated by nuclear stopping, which causes their energy to change discontinuously and also deflects them from their initial direction of propagation.

The computed path lengths then show closer agreement to the projected range than the CSDA range.

Key Words:

Modeling of single event effects, Interaction (particle-material), Proton, Silicon, Ionization losses, Nuclear stopping, Average range of the particle

مشكلة وأهمية البحث:

عندما يصدم أيون سطح مادة صلبة بطاقة عالية جداً فإنه قد يخترق مسافة معينة ضمن مادة الهدف أو ربما يعبر خلاله. تبادل الطاقة بين الأيونات الواردة والذرات ضمن مادة الهدف يشكل أساس لصنف من التأثيرات المتبادلة المعروفة بشكل شائع باسم " تأثيرات الحدث الفردي " (SEEs).

في بيئات الإشعاع القاسي مثل الارتفاعات العالية القريبة من الفضاء الخارجي والناشئة بشكل أساسي من النشاط النووي في الشمس فإن تأثيرات الحدث الفردي يُمكن ان تسبب أنواع من الظواهر الغير مرغوبة في الأنظمة الإلكترونية الحساسة تتراوح من أخطاء ناعمة ((Single Event Upset (SEU) إلى مشاكل دائمة (قاسية) مثل إخماد ذاتي انتقالي ((Single Event Latch-Up (SEL) أو احتراق ((Single Event Transient (SET). لهذا السبب فهم تأثيرات الحدث الفردي أساسي عند تصميم الأجهزة الإلكترونية العاملة في الارتفاعات العالية.

بناءً على ذلك تم نمذجة تبادل التأثير لأيونات عالية الطاقة مع مادة الهدف باستعمال ميزات مصممة في وصلة تتبع أثر جسيم مشحون. استعملت تلك الوصلة لحساب المسافة الوسطية العابرة من قبل البروتونات في السيليكون والتي تمت مقارنتها بعد ذلك مع البيانات التجريبية ضمن مجال من قيم الطاقة البدائية.

نظرية التأثير المتبادل (جسيم-مادة) وفقاً لبرنامج COMSOL Multiphysics

عقدة التأثيرات المتبادلة (جسيم-مادة) استعملت لنمذجة تبادل التأثير لأيون نشيط مع المادة الصلبة. التأثير المتبادل لأيونات النشطة مع مادة الهدف. صُنفت إلى نوعين من التأثيرات المتبادلة: ضياعات بالتأين وإيقاف نووية.

عقدة الضياعات بالتأين Ionization Loss:

عقدة الضياعات بالتأين تُتمذج تبادل التأثير لأيونات مع الإلكترونات في مادة الهدف كقوة كبح مستمرة وفقاً للعلاقة:

$$\mathbf{F} = -S_e \rho \frac{\mathbf{v}}{|\mathbf{v}|}$$

حيث:

\mathbf{F} القوة التي يخضع لها الأيون (مُقاسة بالنيوتن في الجملة الدولية)، S_e قدرة الإيقاف الإلكترونية (مُقاسة بأبعاد m^4/s^2 في الجملة الدولية)، ρ الكثافة لمادة الهدف (مُقاسة بأبعاد kg/m^3 في الجملة الدولية)، \mathbf{v} سرعة الأيون (مُقاسة بأبعاد m/s في الجملة الدولية).

يبدو واضحاً من العلاقة بأن القوة تؤثر دوماً باتجاه معاكس لحركة الجسيمة. من أجل نمذجة ضياع التأيين يتم استعمال البيانات التجريبية [1] ، أو المقيمة والموثوقة وفقاً للنماذج النظرية [2,7] لتوليد دالة استيفاء (1D) والتي من خلالها تكون قدرة الإيقاف ممثلة على شكل دالة للطاقة الحركية للجسيم.

عقدة الإيقاف النووية Nuclear Stopping:

عقدة الإيقاف النووية تُنمذج بتبادل التأثير للأيونات مع النوى في مادة الهدف. وهي على خلاف الضياعات بالتأيين التي أُعتبرت كقوة مستمرة عند تابعيتها للزمن في حين أن التأثيرات المتبادلة مع نوى الهدف أُعتبرت كأحداث مُنفصلة التي تحدث بشكل آني باحتمال معين خلال كل خطوة زمن. بالإضافة إلى أن التفاعلات النووية قد تغير اتجاه سرعة الأيون بالإضافة إلى مقداره [2-15] .

خلال كل خطوة زمنية عند حل المعادلات من قبل البرنامج تكون قيمة زاوية التبعثر χ (مقاسة بالراديان بالجملة الدولية) محسوبة من أجل كل جسيم باستعمال الصيغة:

$$\chi = \pi - 2 \int_{\xi_{\min}}^{\infty} \frac{b}{\xi^2 \sqrt{1 - \frac{\Phi(\xi)}{\xi \epsilon} - \frac{b^2}{\xi^2}}} d\xi \quad (1)$$

وهي توصيف بلا أبعاد لصياغة مرجعية من أجل زاوية التبعثر [6] . ويمثل هنا b (بلا أبعاد) وسيط الصدم المختزل و ξ : الطاقة المختزلة والمعرفة بالعلاقة:

$$\xi = \frac{r}{a_1}$$

حيث:

r : (مُقاساً بالمتر في الجملة الدولية) وهي المسافة القطرية من مسير الجسيم إلى النواة الهدف و a_l : طول الحجب (screening length) (مُقاساً بالمتر في الجملة الدولية).
التعريف لتغيرات طول الحجب يعتمد على الخيار المحدد من قائمة دالة الحجب والموضح بالجدول التالي:

SCREENING LENGTH AND SCREENING FUNCTION DEFINITIONS		
SCREENING FUNCTION	SCREENING LENGTH EXPRESSION $N a_l$	SCREENING FUNCTION EXPRESSION $\Phi(\xi)$
None	$\frac{0.8853a_0}{Z_p^{0.23} + Z_m^{0.23}}$	1
Bohr	$\frac{a_0}{Z_p^{0.23} + Z_m^{0.23}}$	$\exp(-\xi)$
Moliere	$\frac{0.8853a_0}{Z_p^{2/3} + Z_m^{2/3}}$	$0.35\exp(-0.3\xi) + 5.5\exp(-1.2\xi) + 0.1\exp(-6\xi)$

نمذجة تأثيرات الحدث الفردي لحزمة بروتونية واردة ضمن مجال طاقي (1 KeV – 100 MeV) على رقاقة سيليكونية

Lenz–Jensen	$\frac{0.8853a_0}{Z_p^{2/3} + Z_m^{2/3}}$	$0.7466\exp(-1.038\xi) + 0.2433\exp(-0.3876\xi) + 0.01818\exp(-0.206\xi)$
Universal	$\frac{0.8853a_0}{Z_p^{0.23} + Z_m^{0.23}}$	$0.1818\exp(-3.2\xi) + 0.5099\exp(-0.9423\xi) + 0.2802\exp(-0.4028\xi) + 0.2817\exp(-0.2016\xi)$

الطاقة المختزلة ε (بلا أبعاد) عُرِفَت بالصيغة التالية:

$$\varepsilon = \frac{4\pi\varepsilon_0}{Z_p Z_m e^2} a_1 E_{cm}$$

حيث:

Z_p (بلا أبعاد) العدد الذري للأيونات المُنْتَشِرة. Z_m (بلا أبعاد) العدد الذري للمادة.
 $\varepsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ السماحية الكهربائية في الخلاء.
 $e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$ الشحنة العنصرية. E_{cm} (مُقاسة بالجول في الجملة الدولية) الطاقة الحركية في نظام إحداثيات مركز الكتلة.

الحد الأدنى للتكامل ξ_{min} (بلا أبعاد) هو الجذر الموجب الأكبر للمعادلة.:

$$-\xi_{min}^2 + \frac{\Phi(\xi_{min})}{\varepsilon} \xi_{min} + b^2 = 0$$

تتغير دالة الحجب $\Phi(x)$ (بلا أبعاد) اعتماداً على الخيار المحدد من قائمة دالة الحجب، كما هو موضح بالجدول السابق [7].

القيمة لوسيط الصدم المُختزل أُختبرت من التوزيع الاحتمالي لرايلي (Rayleigh) باستخدام الصيغة:

$$b = \frac{1}{a_1} \sqrt{\frac{-\log(U)}{\pi L N}}$$

حيث:

U عدد اختياري (بلا أبعاد) اختبر بالاحتمال المنتظم ضمن الفترة $(0,1)$ ، L المسافة التي يجتازها الجسيم خلال خطوة الزمن، N الكثافة العددية للجسيمات في مادة الهدف. بذلك يبدو واضحاً بأنه عندما تكون خطوات الزمن صغيرة جداً مأخوذة من قبل مُحل (solver) البرنامج فإن قيمة b تكون كبيرة جداً نموذجياً. وهذا يعني تبعاً بأن زاوية التبعثر χ تكون قريبة جداً من الصفر، لذا فإن معظم التصادمات تتجه بأن لا يكون لها تأثير كبير على مسار الجسيم. فعندما تكون القيمة المحسوبة لـ χ أقل من القيمة المحددة لزاوية تبعثر القطع χ_c (Cutoff)، عندئذٍ أعتبر التصادم تافه وسرعة الجسيم لن تكون قيمة مبدئية مرةً أخرى خلال خطوة الزمن تلك.

عندما يكون التصادم المعتبر مهماً، وهذا يتحقق عندما $\chi \geq \chi_c$ عندئذٍ بالإضافة إلى كونه مُنحرفاً بزاوية تبعثر، فإن مسار الجسيم البدائي الجديد يكون أيضاً مُداراً بزاوية سمتيه φ (azimuthal) التي تكون مختبرة عشوائياً ضمن الفترة $[0, 2\pi]$. جزء من طاقة الجسيم تكون مفقودة أيضاً إلى الوسط المحيط بحيث ان الطاقة الحركية E للجسيم تتناقص بطاقة الارتداد T المعرفة بالصيغة التالية:

$$T = \frac{4m_1m_2}{(m_1 + m_2)^2} E \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

حيث: m_1 و m_2 كتلة الأيون والكتلة الذرية لمادة الهدف (مُقدرةً بوحدة kg في الجملة الدولية).

لتجنب الكلفة الحسابية لتخمين تكامل (الصيغة 1) عند كل خطوة زمن من أجل كل جسيم تكون القيمة لهذا التكامل مجدولة من أجل مجال لقيم b و ϵ ، عندئذٍ يتم استيرادها ضمن النماذج كمجموعة لدوال الاستيفاء (interpolation functions) 2D. وبذلك هناك مجال محدود من القيم التي فيها تكون بيانات الإيقاف النووية محسوبة بدقة والمقابلة للفترة المعرفة بالمتراجحات التالية:

$$-5 \leq \log(\epsilon) \leq 15$$

$$-25 \leq \log(b) \leq 10$$

خارج هذا المجال تكون قيمة زاوية التبعثر محسوبةً بالاستكمال الاستقرائي (extrapolation) وربما تكون أقل دقة مقارنةً بالقيم التي تكون محسوبة ضمن هذا المجال.

تعريف النموذج:

تتضمن وصلة تتبع أثر الجسيم المشحون عُقد مصممة لنمذجة تبادل التأثير للأيونات مع المواد الصلبة. حيث أن عقدة تبادل التأثير (جسيم – مادة) تأخذ بالحسبان فقدان الطاقة والتبعثر للأيونات الواردة في المادة الصلبة بمساعدة عقد ثانوية مصممة من أجل الأنواع التالية من التأثيرات المتبادلة:

- عقدة فاقد التأين الثانوية: التي تعالج تبادل التأثير بين الأيونات الواردة والإلكترونات في مادة الهدف كقوة مستمرة تؤثر باتجاه معاكس لحركة الجسيم المشحون.

- عقدة الإيقاف النووية الثانوية: التي تعالج تبادل التأثير بين الأيونات الواردة والنوى في مادة الهدف كقوة متقطعة التي تبطئ الأيون وتحرفه بزوايا عشوائية باحتمال مؤكد.

أكد هذا النموذج القياسي بأن البروتونات المُحررة ضمن شريحة سيليكونية بطاقة بدائية محددة يخضعون عندئذٍ إلى خسارات تأيين حتمية وتأثيرات مُتبادلة نووية عشوائية حتى تصبح سرعته الوسطية صغيرة لدرجة الإهمال. باستعمال مُنغير تابع مُساعد لحساب طول المسار لكل أيون في الهدف، يُمكن حساب المدى الوسطي للأيونات.

هذا المدى الوسطي تتم مقارنته حينئذٍ مع المجال المجدول بموجب تقريب التباطؤ المستمر Continuous Slowing Down Approximation (CSDA range) [1]. بموجب (CSDA) أفترض تباطؤ الأيونات بحيث أن فقدان الطاقة هو نفسه عند كل نقطة على طول مسار الأيون وفقاً للعلاقة:

$$R_{CSDA} = \int_{E_f}^{E_i} \frac{1}{S(E)} dE$$

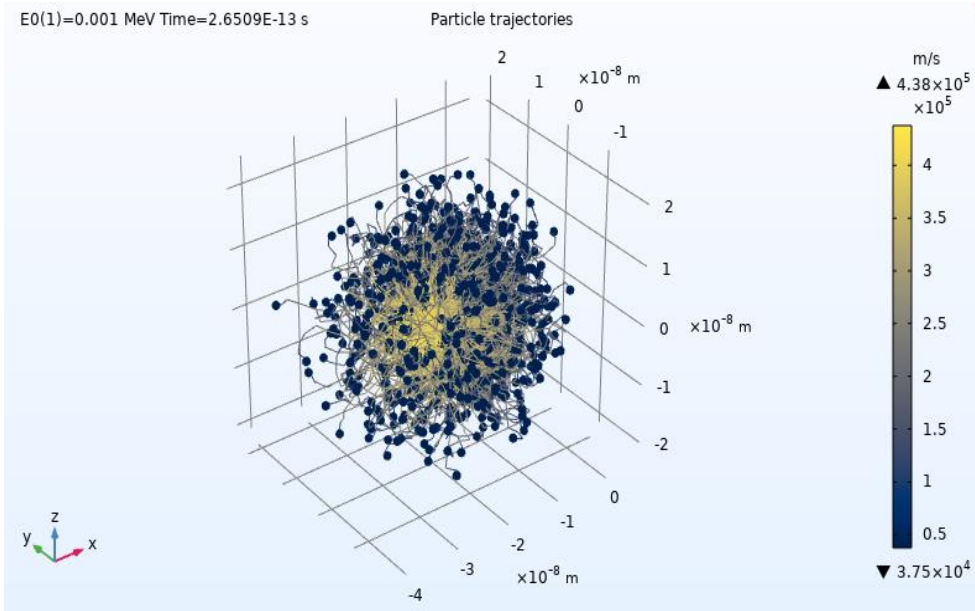
حيث: E_i ، E_f الطاقتين البدائية والنهائية للأيون على التوالي. $S(E)$ قدرة الإيقاف الكلية كتابع لطاقة الأيون (total stopping power).

الوسائل البديلة للإقرار عن مدى الأيون هو المدى المتوقع الذي يُشير إلى عمق الاختراق التقريبي ضمن مادة الهدف. وحُسب المدى المتوقع بواسطة مسقط سرعة الأيون الأول في الاتجاه البدائي للانتشار.

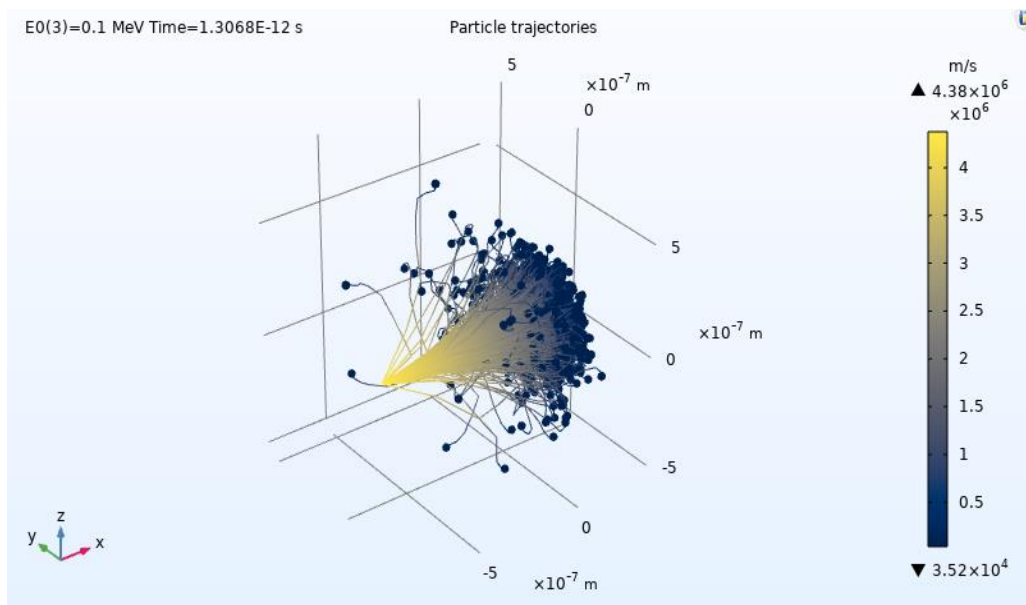
النتائج والمناقشة:

نمذجة تأثيرات الحدث الفردي لحزمة بروتونية واردة ضمن مجال طاقي (1 KeV – 100 MeV) على رقاقة سيليكونية

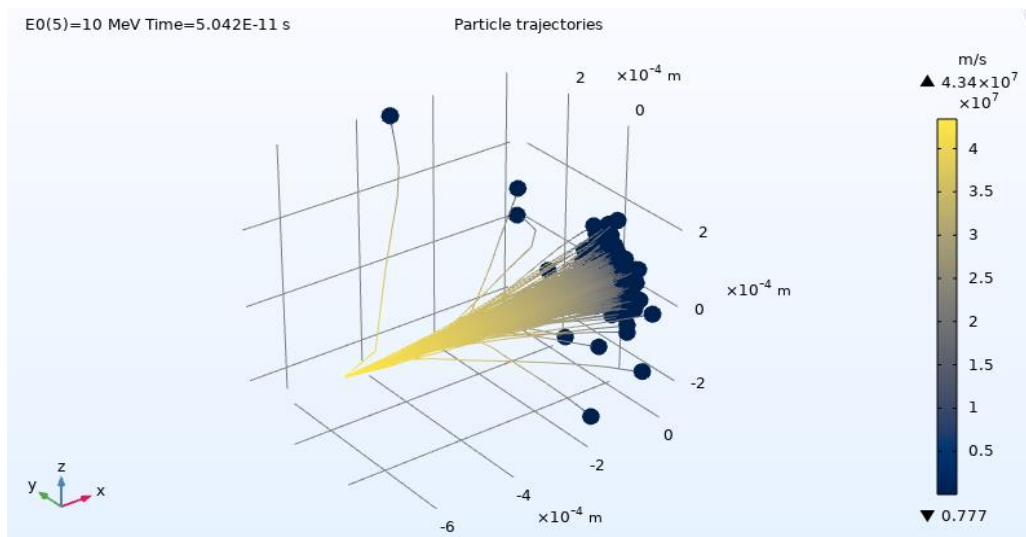
تكون مسارات الجسيم محسوبة من أجل قيم طاقة بدائية تتراوح من 1 keV إلى 100 MeV. عموماً عندما تزداد الطاقة فإن الجسيمات تتحرك في مسارات أكثر خطية، بينما تباطؤهم يكون محكوماً بخسارة التأيين. عند قيم طاقة بدائية مُنخفضة فإن مسارات الأيون تكون محكومة بالتأثيرات المتبادلة النووية وتميل الأيونات لأن تتحرك في اتجاهات عشوائية. المخطط النموذجي لمسارات الأيون يكون موضحاً بالأشكال (1,2,3,4).



الشكل (1). المسارات لبروتونات طاقتها 0.001 MeV. التغير في الاتجاه بسبب التصادمات مع نوى الهدف.

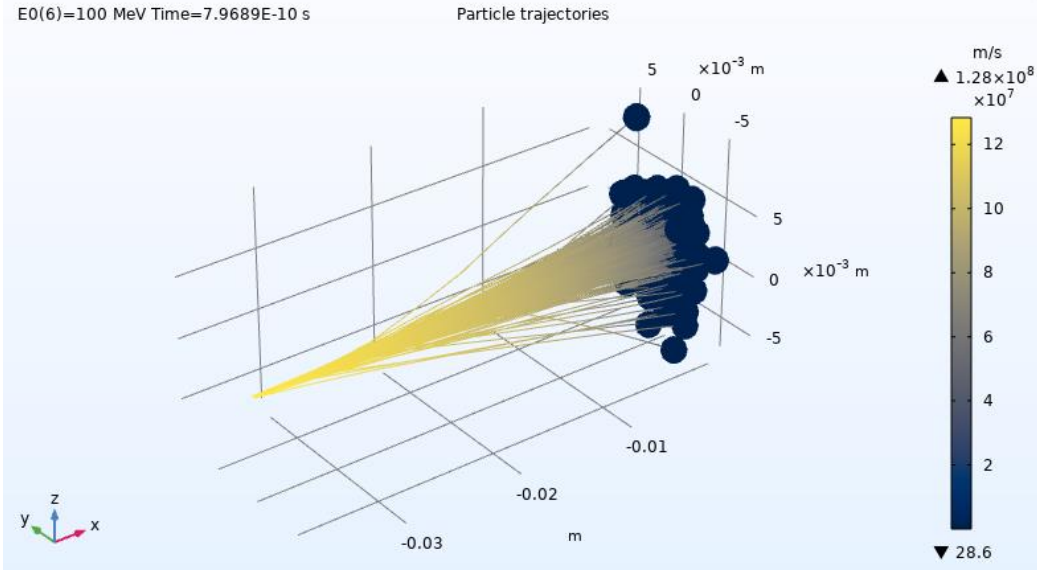


الشكل (2). المسارات لبروتونات طاقتها 0.1 MeV . التغير في الاتجاه بسبب التصادمات مع نوى الهدف. التناقص المستمر في الطاقة ناتج عن الخسارة بالتأيين.



الشكل (3). المسارات لبروتونات طاقتها 10 MeV . التغير في الاتجاه بسبب التصادمات مع نوى الهدف. التناقص المستمر في الطاقة ناتج عن الخسارة بالتأيين.

نمذجة تأثيرات الحدث الفردي لحزمة بروتونية واردة ضمن مجال طاقي (1 KeV – 100 MeV) على رقاقة سيليكونية

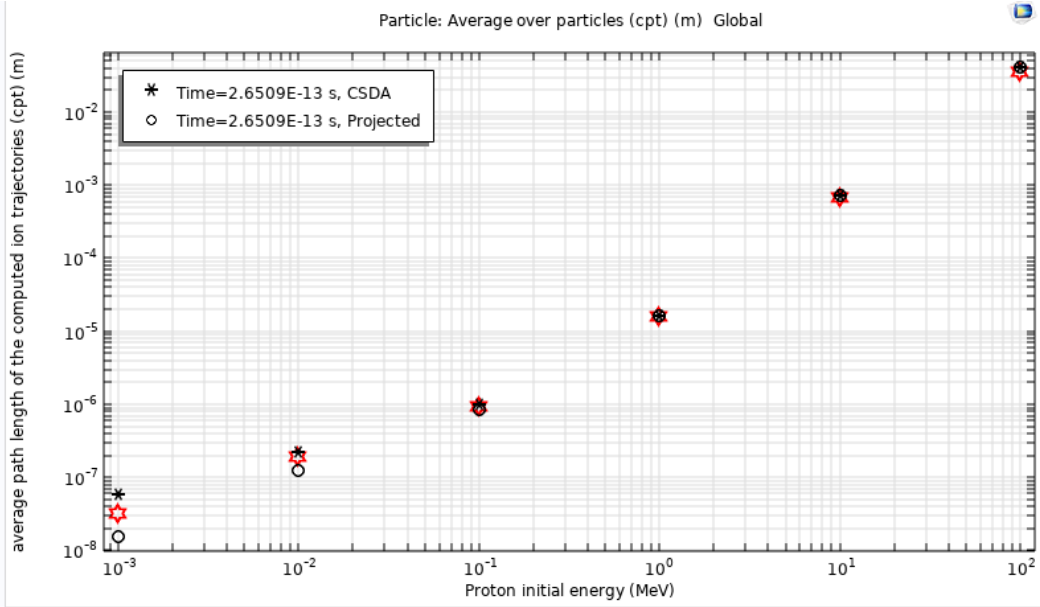


الشكل (4). المسارات لبروتونات طاقتها 100 MeV. الخسارة بالتأيين هو المهيمن، المسارات تصبح أكثر خطية مع تزايد الطاقة.

مدى الأيون الوسطي يكون موضعاً في الشكل (5)، وقورنت قيمه إلى القيم المتوقعة من المرجع (1). حيث أن كلا المدى المتوقع ومدى (CSDA) تكون واضحة. فعند زيادة طاقة الأيون البدائية فإن التوافق بين مدى (CSDA) والمدى المتوقع يتحسن لأن التناقص في طاقة الأيون يكون محكوماً بخسارات التأيين التي تسبب تباطؤ مستمر للأيونات مع مرور الزمن. التوافق بين مدى (CSDA) والمدى المتوقع يتحسن أيضاً لأن خسارات التأيين لا تسبب أي تغيير في اتجاه انتشار الأيون.

عند طاقة بدائية مُنخفضة المدى (CSDA) والمدى المتوقع يختلفان بشكل ملحوظ لأن مسارات الأيون تكون محكومة بالإيقاف النووية والتي تسبب تغيير متقطع لطاقتهم وتحرفهم عن اتجاه الانتشار البدائي.

مع تزايد الطاقة تظهر أطوال المسار المحسوبة عندئذٍ بتوافق أقرب إلى المدى المتوقع عن مدى (CSDA).



الشكل (5). مقارنة طول المسار الوسطي لمسارات الأيون المحسوبة بالقيم المنشورة لمدى الأيون. مدى (CSDA) والمدى المتوقع مذكورين.

الاستنتاجات:

وفقاً لنمذجة تبادل التأثير لحزمة بروتونات نشطة طاقياً مع مادة الهدف (السيليكون) تبين أن:

- 1 - مسارات البروتون المحسوبة من أجل قيم طاقة بدائية تتراوح من 1 keV إلى 100 MeV، تصبح أكثر خطية عموماً عندما تزداد الطاقة وأن تباطؤهم يكون محكوماً بخسارة التأيين. في حين أنه عند قيم طاقة بدائية مُنخفضة فإن مسارات البروتون تكون محكومة بالتأثيرات المتبادلة النووية وتميل لأن تتحرك في اتجاهات عشوائية.

2 - يتحسن التوافق بين مدى البروتون الوسطي ومدى (CSDA) عند مقارنتهما مع بعضهما عند زيادة طاقة البروتون لأن التناقص في طاقته يكون محكوماً بخسارات التأيين التي تسبب تباطؤ مستمر للبروتونات مع مرور الزمن، ولأن خسارات التأيين لا تسبب أي تغيير في اتجاه انتشار البروتون ضمن مادة السيليكون. ومع تزايد الطاقة تظهر أطوال المسار المحسوبة عندئذٍ بتوافق أقرب إلى المدى المتوقع عن مدى (CSDA).

References

1. NIST Stopping-Power and Range Tables for Electrons, Protons, and Helium Ions, <https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions>, & <http://www.nist.gov/pml/data/star/index.cfm>
2. ZIEGLER J.F, BIRSACK J.P, ZIEGLER M.D, 2010 -“SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 268 1818–1823, journal homepage: www.elsevier.com/locate/nimb
3. RISTIVOJEVIC Z, & PETROVIC Z.L, 2012- “A Monte Carlo simulation of ion transport at finite temperatures,” *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 21, no. 3, 035001, 12 pp.
4. SKULLERUDE H.R, 1968 -“The stochastic computer simulation of ion motion in a gas subjected to a constant electric field.” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 1, no. 11, pp. 1567–1568,
5. NANBU K, 2000 -“Probability theory of electron-molecule, ion-molecule, molecule-molecule, and Coulomb collisions for particle modeling of materials processing plasmas and cases.” *IEEE Transactions on plasma science* , vol. 28, no. 3, pp. 971–990.
6. LANDAU L.D, and LIFSHITZ E.M, 1976- *Mechanics*, 3rd ed., Elsevier.
7. ZIEGLER J.F, BIRSACK J.P, ZIEGLER M.D, 2015 – “SRIM - The Stopping and Range of Ions and Matter”.
8. CHILTON A.B, SHULTIS J.K, and FAW R.E, 1984 -“*Principles of Radiation Shielding*.” Prentice-Hall.
9. MARTIN J.E, 2013 -“*Physics for Radiation Protection*.” Wiley.
10. HUMPHRIES S, 2013-“*Charged Particle Beams*,” Dover.
11. LUND S.M, KIKUCHI T, DAVIDSON R.C, 2007-“Generation of initial Vlasov distributions for simulation of charged particle

beams with high space-charge intensity”, *Phys. Rev. Spec. Top. — Accelerators and Beams*.

12. KIRSTEIN P.T, KINO G.S, WATERS W.E, 1967-“*Space charge flow*,” McGraw Hill.

13. DEVROVE L, 1986 -“*Non-Uniform Random Variate Generation*,” Springer-Verlag.

14. YIN Y, SAWIN H.H, 2008-“Surface Roughening of Silicon, Thermal Silicon Dioxide, and Low-k Dielectric Coral Films in Argon Plasma”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 26, no. 1, pp. 151–160.

15. GUO W, SAWIN H.H, 2009-“Modeling of the Angular Dependence of Plasma Etching”, *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 27, no. 6, pp. 1326–1336.

تبعثر الديترونات المقذوفة بطاقة

$E_D = (50 - 70) \text{ MeV}$ بواسطة نوى النحاس

(Cu^{63})

باستخدام طريقة التقريب التغايري للعزوم VMA

اعداد الطالبة : آلاء الاحمد اشراف : أ.د عبد الهادي صوفان

الملخص:

تهدف هذه الدراسة الى تحليل تبعثر نوى الديترون (^2H) على نوى الهدف النحاس (Cu^{63}) ضمن المجال الطاقى $E_D = (50-70) \text{ MeV}$ باستخدام النموذج الضوئي التبددي (DOM) ومنهجته المعروفة بطريقة التقريب التغايري للعزوم (VMA) ركزت الدراسة على استخراج الكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية) المميزة لهذا التفاعل، وحساب العزوم من المرتبة الثانية، والمقاطع العرضية الكلية والتفاضلية بدلالة الطاقة. اظهرت النتائج توافقا جيدا مع البيانات المرجعية والتجريبية مع وجود بعض الفروقات في القيم التخيلية تعود على الاعتماد على بارامترات مرجعية مثبتة في بعض التصنيفات. توصلت الدراسة الى وصف دقيق لطبيعة التفاعل النووي، تفتح هذه النتائج المجال لتوسيع التطبيق على أنظمة نووية أخرى

الكلمات المفتاحية:

تبعثر الديترونات ،التبعثر النووي، طريقة التقريب التغيري للعزوم (VMA)، النموذج
الضوئي التبددي، المقاطع العرضية، الكمونات الضوئية

Scattering of deuterons with an incident energy of $E_D=(50-70)\text{MeV}$ by copper (Cu^{63}) nuclei using the variational moment approach (VMA)

Abstract:

This study aims to analyze the elastic scattering deuterons (^2H) on a copper nuclei (^{63}Cu) within the energy range $E_d=(50-70)\text{MeV}$ using the dispersive optical model (DOM) and its known methodology via the variational momentum approach(VMA). the focus was on extracting the real and imaginary parts of the optical potential characteristic of this interaction and determining the second –order moments in addition the total and differential cross sections were as a function of energy .the results showed very good agreement with both reference and experimental data ,although some discrepancies were observed in the imaginary values ,likely due to reliance on parameterizations referenced in some classifications .the study concluded with a detailed physical description of the nuclear interaction, and suggest the applicability this methodology to other nuclear systems.

Keywords:

Deuteron scattering ,Nuclear scattering ،Variational moment approach (VMA), Dispersive optical Model(DOM)، cross sections. Optical components

مقدمة:

تُعد الفيزياء النووية من الركائز الأساسية في العلوم الفيزيائية، حيث تهتم بدراسة مكونات النواة الذرية (البروتونات والنيوترونات) والقوى التي تربط بينها، بالإضافة إلى التفاعلات النووية المختلفة التي تحدث تغيراً في خصائص النواة أو بنيتها. وقد ساهمت الأبحاث في هذا المجال في فهم العديد من الظواهر الفيزيائية، وتطوير تطبيقات حيوية في الطاقة، والطب، والصناعة، والتقنيات الأخرى [1-2-3]

من بين أهم فروع الفيزياء النووية النظرية والتجريبية دراسة تبعثر الجسيمات النووية، حيث يُعد التبعثر وسيلة فعالة للكشف عن التركيب الداخلي للنوى وخصائصها التفاعلية. ويُعد الديترون وهو نواة نظير الهيدروجين الثقيل (يتكوّن من بروتون ونيوترون)، جسيماً مثالياً في مثل هذه الدراسات نظراً لبنائه البسيطة وقدرته على التفاعل النووي المرن وغير المرن. [4-5]

عند دراسة تبعثر الديترونات بطاقة تتراوح بين $MeV (50-70)$ فإننا ندخل في نطاق الطاقات المتوسطة التي تُظهر فيها القوى النووية الشديدة سلوكاً معقداً، وتستلزم هذه الظواهر نماذج رياضية دقيقة لتحليل البيانات بشكل صحيح، ومن أبرز هذه النماذج طريقة التقريب التغايري للعزوم (VMA)، والتي تسمح بتحليل التبعثر بدقة من خلال احتساب مقاطع التبعثر الزاوي وتحليل تأثيرات الطاقة [5-6-7]

في هذا السياق، يُعد اختيار نوى النحاس (Cu^{63}) كهدف لتبعثر الديترونات ذا أهمية خاصة، نظرًا لتركيبها النووي المتوسط الذي يوفر بيئة مثالية لاختبار صحة النماذج النظرية. كما أن الخصائص الفيزيائية والنوعية لنوى النحاس تسمح بتحقيق توازن بين التعقيد النظري والإمكانية العملية في التجربة، مما يجعلها موضوعًا مناسبًا لدراسة آليات التفاعل النووي وتقييم فعالية النماذج الحسابية المستخدمة.

هدف البحث:

تحليل التباينات الطاقية في تبعثر نوى الديترون على الهدف النحاس ضمن المجال الطاقى المحدد وتحديد الشكل الرياضي للكمونات الضوئية، واستخلاص العزوم من المرتبة الثانية، بالإضافة إلى احتساب المقاطع العرضية للتفاعل والمقاطع التفاضلية بدلالة الطاقة وتقويم دقة النموذج المستخدم واختبار صلاحيته في وصف التبعثر النووي.

طرق البحث:

أولاً: هيكلية النموذج الضوئي التبددي (DOM) (Dispersional optical Model):

يعطى الكمون النيوتروني الضوئي وفقاً لطريقة VMA الذي يعبر عن التأثير المتبادل بين النيوكليونات المقذوفة ونوى الهدف بالعلاقة التالية :

$$U(r, E) = V(r, E) + iW(r, E) + V_{LS}(r, E) + V_C(r) \quad (1)$$

وكما هو موضح من العلاقة (1) أن الحقل الوسطي المتشكل ناجم عن اتحاد عدة مكونات أساسية وهي على الترتيب: [9-10-11-12-14]

1. $V(r, E)$: المكوّن الحقيقي للكمون الضوئي (كمون التبعثر) ويتألف من مساهمتين الأولى ناتجة من مساهمة كمون هارتي فوك V_{HF} والثانية هي المساهمة التبديدية $\Delta V(r, E)$ وتنقسم إلى مركبتين (سطحية تبديدية $\Delta V_d(r, E)$ وحجمية تبديدية $\Delta V_w(r, E)$) ويعبر عن ذلك بالعلاقة (2):

$$V(r, E) = V_{HF}(r, E) + \Delta V(r, E)$$

$$V(r, E) = V_{HF}(r, E) + \Delta V_d(r, E) + \Delta V_w(r, E) \quad (2)$$

1. $W(r, E)$: المكوّن التخيلي للكمون الضوئي (كمون الامتصاص) أيضاً يتألف من مركبتين كمون الامتصاص السطحي $W_d(r, E)$ وكمون الامتصاص الحجمي $W_v(r, E)$ ويُعبّر عنه بالعلاقة (3):

$$W(r, E) = W_d(r, E) + W_v(r, E) \quad (3)$$

2. $V_{LS}(r, E)$ الكمون السبيني المداري: وهو يعكس التأثير المتبادل بين العزم السبيني S والعزم المداري L ، ويعطى بالعلاقة التالية: [6]

$$V_{LS}(r, E) = -\frac{V_{LS}(E)}{4r_{LS} \cdot a_{LS}} \cdot g(x_{LS}) \vec{L} \cdot \vec{\sigma} \quad (4)$$

حيث:

$(\vec{\sigma})$ مؤثر مصفوفة اللف الذاتي.

\vec{L} مؤثر مصفوفة يعبر عن العزم المداري.

$g(x_{LS})$ ثابت يتعلق بوسطاء الانتشارية ونصف القطر للكمون السبيني المداري.

3. $V_C(r)$ الكمون الكولومي: يعطى من أجل كرة مشحونة منتظمة بالعلاقة التالية:

$$V_C(r) = \left(\frac{ZZ'e^2}{2R_C} \right) \left(3 - \frac{r^2}{2R_C^2} \right) \quad ; r \leq R_C \quad (5)$$

يجمع النموذج الضوئي التبددي في بُنيته الرياضية هذه المكونات الأربعة لتشكيل حقل وسطي دقيق يحاكي عملية التبعثر النووي بصورة واقعية، ويتم إدراج هذا الحقل الوسطي في معادلة شرودنغر الموجية، مما يتيح حساب الكميات الفيزيائية كالمقاطع العرضية للتفاعل والتفاضلية وتُعطى الصيغة التفصيلية لهذا الحقل الممثل بالكمون الضوئي من خلال العلاقة التالية:

$$U(r, E) = [V_{\text{HF}}(r, E) + \Delta V_d(r, E) + \Delta V_v(r, E)] + i[W_d(r, E) + W_v(r, E)] - \frac{V_{LS}(E)}{4r_{LS} \cdot a_{LS}} \cdot g(x_{LS}) \vec{L} \cdot \vec{\sigma} + V_c(r) \quad (6)$$

إن كل مكون من مكونات العلاقة (6) يتكون من جزأين: الأول ذات تابعة طاقة والثاني ذات تابعة قطرية، وعلى اعتبار أن الكمون الضوئي يصف حقل قوى مركزي وسطي متناظر كروياً، فإن أفضل صيغة يمكن اعتمادها لوصف بئر الكمون هذا هي صيغة كمون وود-ساكسون [16] (Wood-Saxon form) التالية:

$$V(r, E) = V_j(E) \cdot f(r, R_j, a_j) \quad (7)$$

حيث أن: $R_j = r_j * A_t^{\frac{1}{3}}$ (نصف القطر)، a_j : وسيط الانتشارية، $f(r, R_j, a_j)$ معامل البنية ويعطى بالعلاقة التالية:

$$f(r, R_j, a_j) = \frac{1}{1 + \exp \left(\frac{r - R_j}{a_j} \right)} \quad (8)$$

ثانياً : خطوات تطبيق منهجية VMA : [19-15-13-20]

أولاً: تحديد مكونات الحقل النووي الموضح في العلاقة (6) ويتم ذلك وفق التالي:

بالنسبة للمكوّن الحقيقي للكمون الضوئي فهو يتألف من مساهمتين، يتم تحديد المساهمة الأولى الممثلة بكمون (هارتي- فوك) بالعلاقة التالية:

$$V_{HF} = \frac{[r^2]_{HF} EF}{g_{HF}} \{ \exp[\alpha_{HF} (E - E_0)] \} \cdot f(x_{HF}) \quad (9)$$

حيث: $f(x_{HF})$ يمثل صيغة معامل البنية (Wood-Saxon form)، و $[r^2]_{HF}$ يمثل العزم من المرتبة الثانية لكمون (هارتي- فوك) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$[r^2]_{HF} = \frac{4\pi}{3} \frac{R_{HF}^3}{A} \left[1 + \left(\frac{\pi a_{HF}}{R_{HF}} \right)^2 \right] \cdot V_{HF}(E) = g_{HF} \cdot V_{HF}(E) \quad (10)$$

المساهمة الثانية التبددية بنوعها (السطحية والحجمية) فيتم تحديدها من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta V_W(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_0) \int_{E_0}^{\infty} \frac{w_V(r, E) dE}{(E - E_0)^2 - (E - E_0)} \quad (11)$$

$$\Delta V_d(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_0) \int_{E_0}^{\infty} \frac{w_d(r, E) dE}{(E - E_0)^2 - (E - E_0)}$$

أما المكوّن التخيلي للكمون الضوئي بشقيه (الحجمي W_w و السطحي W_d) فيُحدد بعد إيجاد وتحديد قيم العزوم التخيلية الموافقة، باستخدام العلاقة (12) التالية:

$$J_{wd}(E) = \frac{4\pi}{3} \frac{R_{wd}^3}{A_p A_t} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi a_{wd}}{R_{wd}} \right)^2 \right] \cdot W_{wd}(E) = g_{wd} W_{wd}(E) \quad (12)$$

$$J_{ww}(E) = \frac{4\pi}{3} \frac{R_{ww}^3}{A_p A_t} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi a_{ww}}{R_{ww}} \right)^2 \right] \cdot W_{ww}(E) = g_{ww} W_{ww}(E)$$

$$J_W(E) = J_{wd}(E) + J_{ww}(E) = 4\pi A \int_0^{\infty} [W_d(r, E) + W_w(r, E)] r^2 dr$$

حيث : $J_W(E)$ ، $J_{WW}(E)$ ، $J_{Wd}(E)$ العزوم من المرتبة الثانية للكمونات التخليقية (السطحية والحجمية والكلية) على الترتيب ، وتحدد من خلال علاقة براون راو (Brown-Rho) التالية: [17]

$$J_{Wd}(E) = J_W(E) - J_{WW}(E) \\ = \beta_2 \left\{ \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_2^2} - \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_W^2} \right\} \quad (13)$$

حيث: $(\rho_W, \rho_2, \beta_2)$ تمثل وسطاء (براون - رو) (Brown-Rho)، وهي متغيرات تُحدد بطريقة المحاكاة والمقارنة بين القيم العددية للعزوم من المرتبة مع القيم المرجعية الموافقة لها عند طاقة محددة، أما (E_0, E) تمثل طاقة القذيفة و بارامتر يتعلق بخصائص المستويات الفرعية للتفاعل المدروس على الترتيب.

بعد الانتهاء من تحديد جميع مكونات العلاقة الأساسية يتم ادراج هذه الكمون في معادلة شرودنغر الموجية وحلها عدديا باستخدام الكود (SPI) [18]

حيث أن معادلة شرودنغر الموجية المستخدمة تعطى بالعلاقة التالية: [1]

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2} (E - U) \psi = 0 \quad (14)$$

ادوات البحث:

اجريت الحسابات بمساعدة برنامج حاسوبي خاص بنموذج (VMA) ،اذ يقوم بمعالجة البيانات المتعلقة بجميع العلاقات الداخلة في تركيب (VMA) إحصائيا من كمونات العزوم وبارامترات هندسية (كأعماق الكمونات وانصاف الاقطار والنفاذية) من اجل كل قيمة طاقية وبعد المعالجة يتم حفظها واخراجها بشكل قيم عددية وتدرج فيما بعد مباشرة في البرنامج

العام النموذجي (Spl-Genoa) ليتم حساب وانتقاء افضل القيم المقابلة لمقاطع التفاعل من خلال مقارنتها مع مثيلاتها التجريبية .

النتائج والمناقشة:

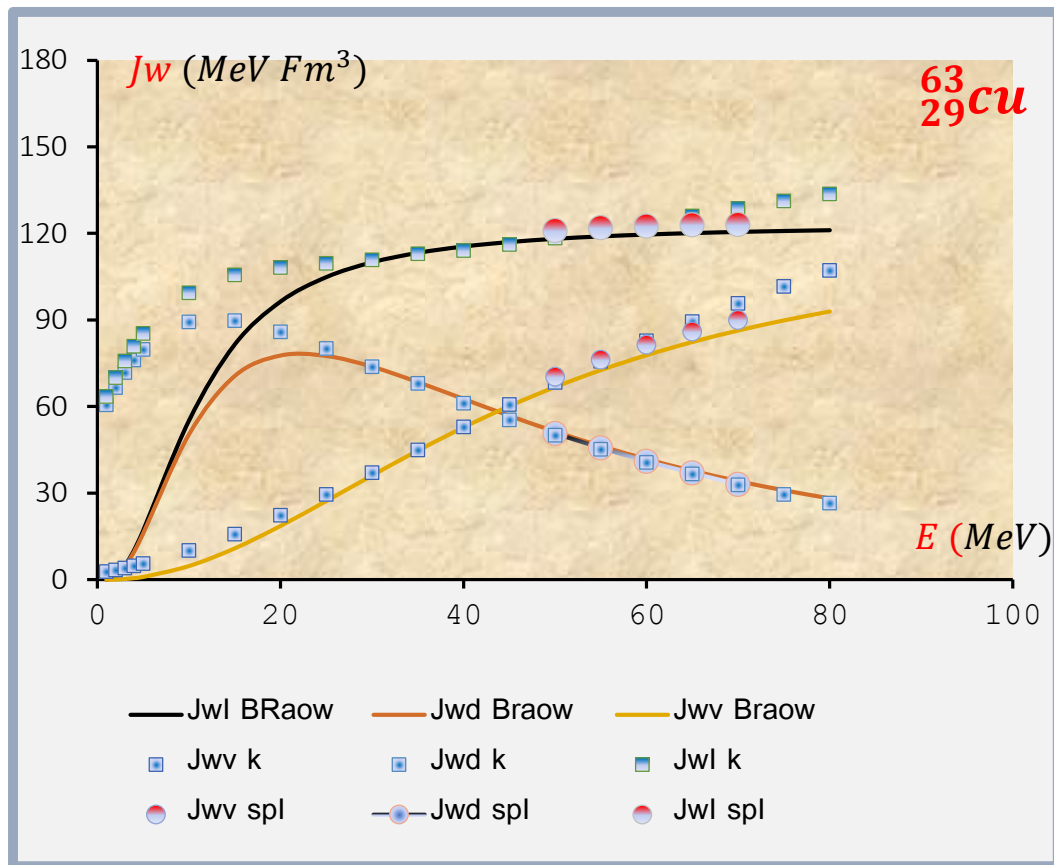
بناءً على الخطوات السابقة وبعد تحليل البيانات التجريبية واستخراج الحسابات العددية وفق منهجية VMA توصلنا إلى ما يلي:

1. تم ايجاد البارامترات الهندسية للكمونات الضوئية للتفاعل ($D+Cu^{63}$) كما هو مبين في الجدول (1):

E	V _v	W _v	W _d	r _v	a _v	r _w	a _w	r _d	a _d
(MeV)				(Fm)					
50	86.332	12.220	7.058	1.354	0.666	1.347	0.601	1.347	0.666
55	83.749	13.254	6.348	1.351	0.666	1.347	0.601	1.347	0.666
60	81.161	14.160	5.714	1.349	0.666	1.347	0.601	1.347	0.666
65	78.598	14.954	5.148	1.347	0.666	1.358	0.601	1.347	0.666
70	76.079	15.646	4.650	1.346	0.666	1.358	0.601	1.347	0.666
V _{so} =2.417 MeV				r _{so} =0.590 Fm		a _{so} =1.025 Fm			

الجدول (1) قيم البارامترات المثلى التي حصلنا عليها من برنامج VMA

2. تم حساب العزوم من المرتبة الثانية للمكونات التخيلية (السطحية والحجمية) ودراسة
تابعيتها الطاقية بالاعتماد على علاقة براون-راو (Brown-Rho) [17]، وتمثيلها
بيانياً كما هو موضح بالشكل (1) :



الشكل (1) يمثل تغيرات العزوم من المرتبة الثانية بدلالة الطاقة للتفاعل ($D+\text{Cu}^{63}$)

نلاحظ من الشكل (1) أن العزوم التخيلية بأشكالها تبدي سلوكاً مختلفاً لتابعيتها للطاقة،
حيث يتبين لنا أن العزوم التخيلية الحجمية تسلك منحاً متزايداً مع زيادة الطاقة، والعزوم

التخيلية السطحية ايضا تزداد مع زيادة الطاقة بشكل اسرع الى ان تصل الى قيمة عظمى عند طاقة محددة والعزوم الكلية تبدي سلوكا متزايدا في البداية ثم استقرارا ملحوظا. نلاحظ ايضا التوصيف الجيد الذي اظهرته علاقة بروان-راو مع النتائج النظرية والبيانات المرجعية) (21-22) مما يثبت فعالية نموذج VMA

3. تم استخراج الوسطاء الهندسية لطريقة VMA، كما هو موجود في الجدول (2):

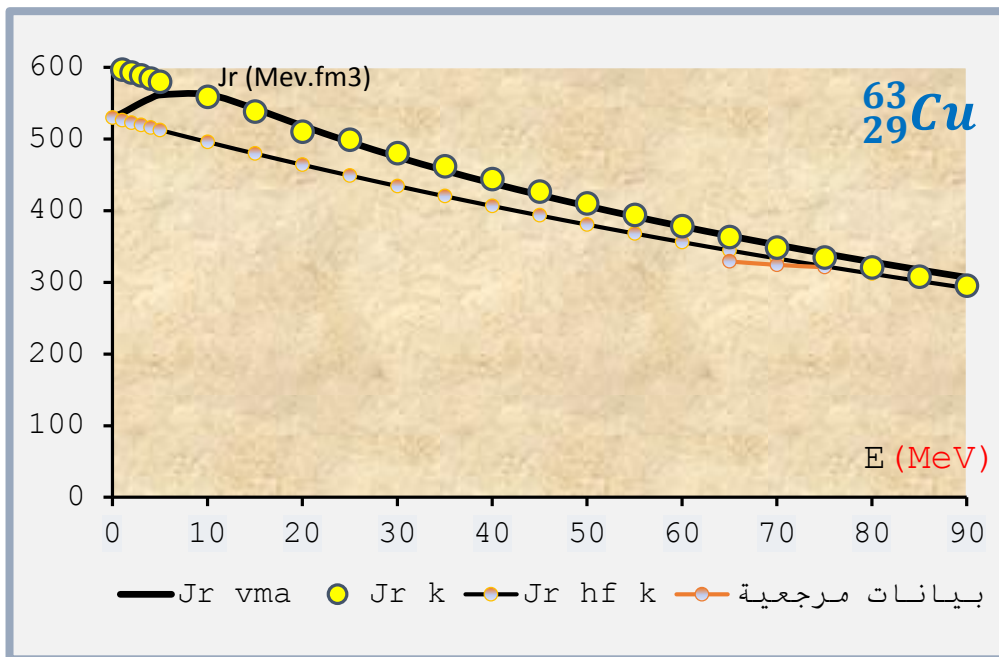
E_0	ρ_2	ρ_w	2β
	(MeV)		(MeV.Fm ³)
1	10	43	125

الجدول (2) الوسطاء الهندسية الخاصة بطريقة VMA

4. دراسة التابعية الطاقية للعزم الحقيقي $J_r(E)$ وعزم هاتري فوك $JHF(E)$

وتم ايجاد القيم العددية للعزوم ومثلت بيانيا كتابع للطاقة اضافة الى القيم المحسوبة كما هو موضح في الشكل (2):

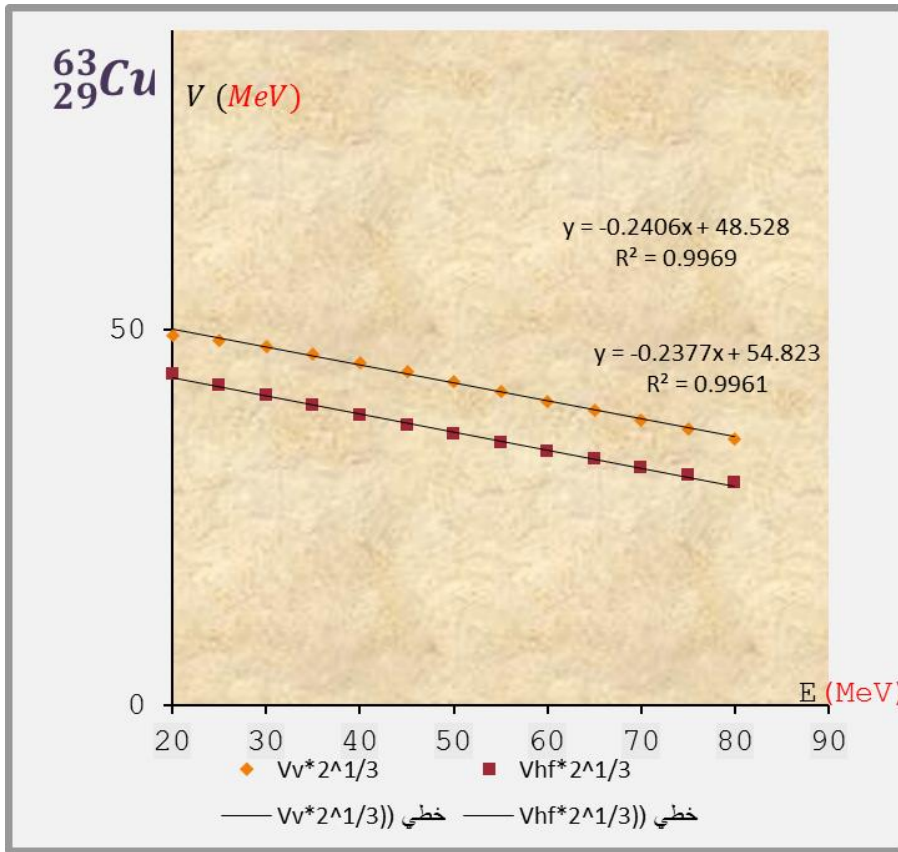
تبعثر الديترونات المقذوفة بطاقة $E_D = (50-70) \text{ MeV}$ بواسطة نوى النحاس (Cu^{63}) باستخدام
طريقة التقريب التغييري للعزوم VMA



الشكل (2) تغيرات العزم الحقيقي وعزم هارتي فوك بدلالة الطاقة للتفاعل ($D + {}^{63}\text{Cu}$)

نلاحظ من الشكل (2) السلوك الطاقى للعزوم الحقيقية منسجم مع البيانات المرجعية
هذا يعكس مدى التحديد الدقيق لوسطاء (VMA) وبارامترات الكمون الضوئي المختارة
وفق هذه الطريقة

5. تم تحديد قيم الكمونات الضوئية الحقيقية والشكل (3) يوضح ذلك:



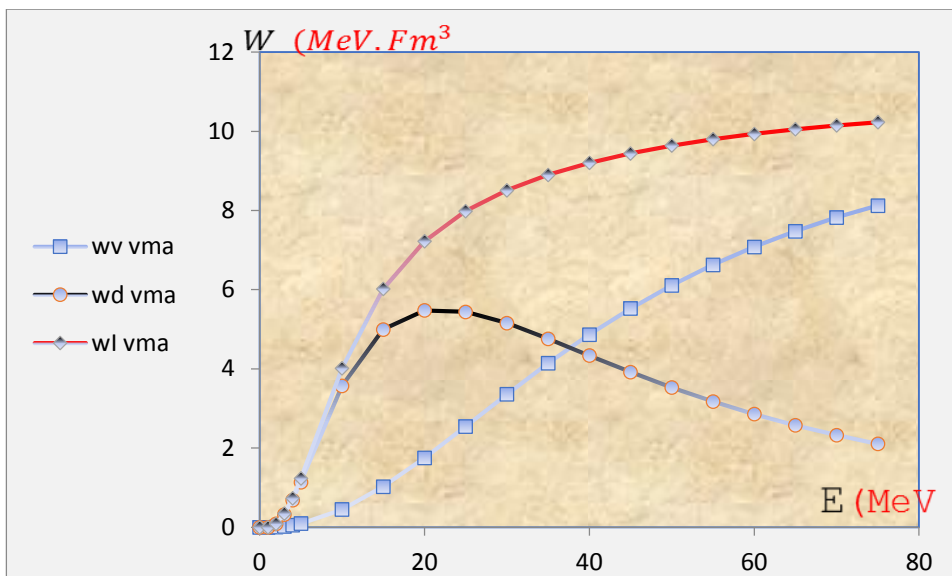
الشكل (3) يمثل التابعة الطاقة للكمون الحقيقي وكمون هارتي فوك للتفاعلي ($D+^{63}\text{Cu}$)

نلاحظ من الشكل (3) سلوكا خطيا منتظما بين $V_V(E)$ و $V_{HF}(E)$ مع نسبة معامل تحديد خطي (R^2) بين قيم الكمونيين قريبة جدا من الواحد. مما يعكس دقة اختيار الوسطاء في

VMA

6- وايضا استكمالا لما سبق تم تحديد الكمونات التخيلية (السطحية والحجمية) وتمثيلها بيانيا

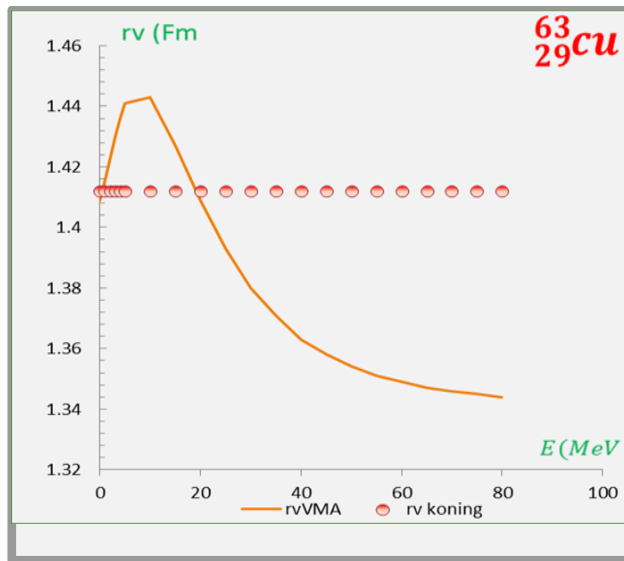
في الشكل (4)



الشكل (4) يمثل التابعة الطاقية للكمونات التخيلية (السطحية والحجمية والكلية)
للتفاعل المدروس

نلاحظ من الشكل (4) أن الكمونات التخيلية تظهر سلوكا طاقيا متسقا ومشابها لسلوك الكمونات الموافقة لها في التصنيفات المرجعية (21-22) باختلاف قيمها العددية، هذا ويعد دليلا على ان الامتصاص النووي يتبع سلوكا طاقيا شبه خطي في النوى المتوسطة.

6. استكمالا لما سبق فقد تم دراسة تغيرات نصف قطر الكمون بدلالة الطاقة ومثل بيانياً
كما في الشكل (5)

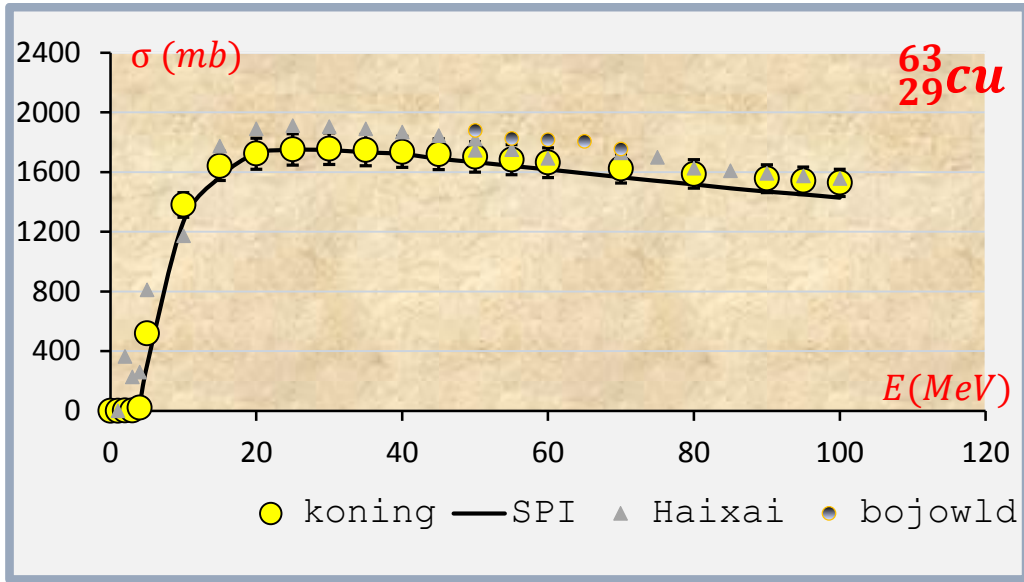


الشكل (5) يمثل تغيرات نصف القطر الحقيقي بدلالة الطاقة للتفاعل ($D+Cu^{63}$)

نلاحظ من الشكل (5) وبالمقارنة مع البيانات المرجعية [21-22] التقاء الخط البياني مع عدد محدد من النقاط المرجعية عند قيم طاقة مختلفة. ومن النادر الالتقاء مع كل النقاط الأخرى وذلك لأن التصنيفات المرجعية (2-3) كما ذكرنا سابقاً اعتمدت على طريقة تثبيت بعض البارامترات الهندسية للكمون الضوئي ، وبالتالي هذا لا يعكس التغيرات التي تطرأ على نصف القطر بشكل واضح ولا على التأثيرات المتبادلة بين القذيفة والهدف .

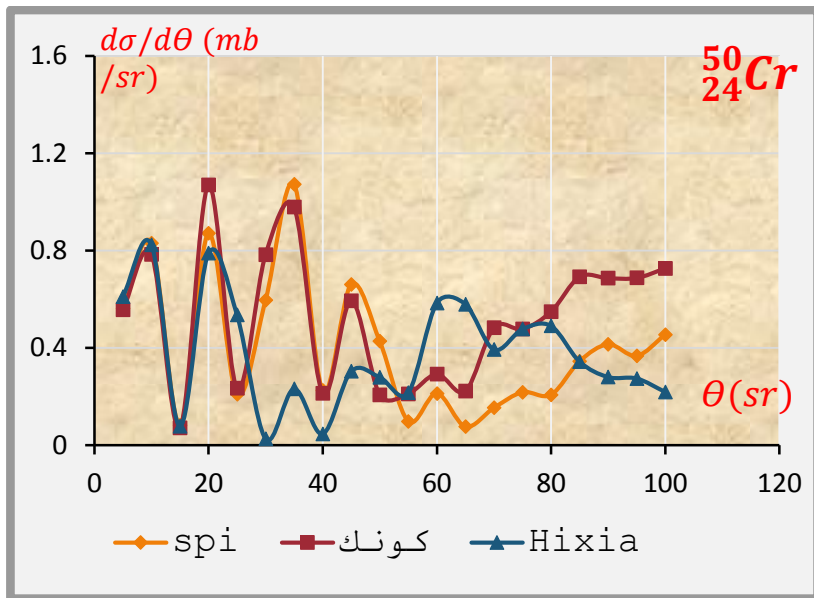
7. تم حساب القيم العددية للمقاطع العرضية للتفاعل والمقاطع العرضية التفاضلية للتفاعل المدروس ومن ثم مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية وتم تمثيلها بيانياً، في الشكل (6) والشكل (7) يوضحا ذلك:

تبعثر الديترونات المقذوفة بطاقة $E_D=(50-70)\text{MeV}$ بواسطة نوى النحاس (Cu^{63}) باستخدام
طريقة التقريب التغييري للعزوم VMA



الشكل (6) يمثل تابعة المقطع الكلي للتفاعل للطاقة ضمن المجال الطاقية المدروس

نلاحظ من الشكل (6) التوافق الجيد لقيم مقاطع التفاعل المحسوبة وفق طريقة VMA $\sigma(\text{spi})$ والقيم المحسوبة وفق التصنيفات المرجعية [24-22-21] ومع القيم التجريبية الموافقة لها ، مما يدل على صحة البارامترات المحددة وفق طريقة VMA.



الشكل (7) يمثل تغيرات المقطع العرضي التفاضلي بدلالة الطاقة للتفاعل المدروس

كما ملاحظ من الشكل (7) من خلال مقارنة المنحني الخاص بقيم VMA التي قمنا بحسابها مع السلوك الناتج عن قيم تصنيف koning والمرجع التجريبي (22) وجود سلوك واحد تقريباً يأخذ شكل متعرج محدد بقيمة عظمى وصغرى ويعود ذلك الى البنية النووية للنواة المدروسة .

الاستنتاجات:

1- تم حساب البارامترات الهندسية للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية) باستخدام منهجية VMA وعلاقة بروان راو

2- لاحظنا وجود تطابق بين القيم الحسابية للعزوم من المرتبة الثانية وبين المعطيات التجريبية (الشكل 1)

3- وجدنا قيم العزم الحقيقي وقيم عزم هاتري فوك بالاعتماد على طريقة VMA وتمثيلها بيانياً (الشكل 2)

4- أظهرت الكمونات التخيلية (السطحية والحجمية) سلوكا مشابها للتصنيفات المرجعية رغم وجود بعض الفروقات العددية المرتبطة بتثبيت المعاملات في تلك التصنيفات (الشكل 3-4)

5- تم تحديد قيم نصف القطر الحقيقي ودراسة تابعيته الطاقية وفقا لطريقة VMA وتبين ان التغير في نصف القطر يتماشى مع التوقعات النظرية والمراجع المعتمدة (الشكل 5)
6- تم التحقق من دقة حساب المقاطع العرضية الكلية والتفاضلية وتمثيلها بيانيا، مما يدل على قوة ودقة النموذج في تمثيل التفاعلات النووية الشكل (6-7)

التوصيات :

- 1- يوصى بتطبيق منهجية التقريب التغيري للعزوم على منظومات نووية اخرى تشمل نوى ثقيلة او خفيفة لاختبار شمولية النموذج
- 2- ادخال تحسينات على طريقة المحاكاة الرقمية عبر اعتماد خوارزميات اكثر تطورا لحساب العزوم
- 3- يقترح اجراء تجارب مخبرية جديدة للتحقق من صحة النتائج المحسوبة ومقارنتها مع النتائج النظرية

المراجع:

1. Satchler, G.R. *Direct Nuclear Reactions*. Oxford University Press, 1983
2. Hodgson, P.E. *The Optical Model of Elastic Scattering*. Clarendon Press, 1963.
3. . Austern, N. *Direct Nuclear Reaction Theories*. Wiley-Interscience, 1970.

4. Becchetti, F.D., and Greenlees, G.W. "Nucleon-Nucleus Optical-Model Parameters, $A > 40$, $E < 50$ MeV." Phys. Rev., 182(1969): 1190..
5. Perey, F., and Perey, C.M. "Compilation of Deuteron Optical Model Parameters." Atomic Data and Nuclear Data Tables, 17(1), 1976: 1–101
6. Rawitscher, G.H. "Multiple Scattering and Deuteron-Nucleus Interactions." Phys. Rev. C, 9(1974): 2210.
7. . Mollah, A.S., et al. "Deuteron Scattering from Medium Mass Nuclei." Journal of Nuclear Physics, 30(2), 2014: 78–85.
8. Khaliel, E.S. "Theoretical Analysis of Deuteron Elastic Scattering from ^{58}Ni at 56 MeV." Nuclear Physics A, 957(2017): 91–100.
9. Hilaire, S., & Girod, M. (2001). Microscopic optical potential from Hartree-Fock-Bogoliubov calculations. European Physical Journal A, 12(2), 169–176
10. Charity, R. J., & Sobotka, L. G. (2008). Dispersive optical-model analysis of neutron scattering on ^{208}Pb . Physical Review C, 77(4), 044611.
11. Capote, R., Herman, M., Obložinský, P., Young, P. G., Goriely, S., Belgia, T., ... & Koning, A. J. (2009). RIPL – Reference Input Parameter Library for Calculation of Nuclear Reactions and Nuclear Data Evaluations. Nuclear Data Sheets, 110(12), 3107–3214.
12. Al-Mustafa, H., & Belal. A. (2019). A Dispersive Optical Model Analysis of the (Coulomb-Nuclear) Interference Potential , ALBAATH university- Syria HOMS.
13. BELAL A., Al-Ibrahim M., " Studying the energetic function as the parameters of the optical proton potential use the Desperation optical model" ALBAATH university- Syria HOMS, 2020.
14. Holt, J. W., & Whitehead, T. R. (2022). Modern approaches to optical potentials. Handbook of Nuclear Physics. arXiv preprint.

15. MAHAUX . C, SARTOR . R ,1992 -Advance in nuclear, phys. edited , New. York , Vol . 20 , p.1 .
- 16- 2. Woods, R. D., & Saxon, D. S. (1954). Diffuse surface optical model for nucleon-nuclei scattering. Physical Review, 95(2), 577–578.
- 17- Brown, G. E., & Rho, M. (1991). Scaling effective Lagrangians in a dense medium. Physical Review Letters, 66(20), 2720–2723.
- 18-PEREY F.G. code SPI-GENOA (unpublished)1976.
- 19-.Vautherin, D., & Brink, D. M. (1972). Hartree-Fock calculations with Skyrme's interaction. I. Spherical nuclei. Physical Review C, 5(3), 626–647.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevC.5.626> 8. Mahaux, C., & 20-
- 20- Sartor, R. (1991). Dispersion relation approach to the mean field in nuclei and the nuclear optical model. Advances in Nuclear Physics, 20, 1–223
- 21- A.J. Koning and D. Rochman ,Nuclear Research andConsultancy Group NRG,P.O. Box 25, 1755 ZG Petten, The Netherlands (Dated: September 27, 2012)
- 22-Haixia An and Chonghai Ca
Physical Review C73 (2006) 054605.
- 23-E. Šimečková,* P. Bém, M. Honusek, and M. Štefani Euratom/IPP.CR Fusion Association, Nuclear Physics Institute (NPI), 25068 Řež, Czech Republic2
- 24-Bojowald, H. Machner, H. Nann, W. Oelert, M. Rogge, P.Turek Physical Review C38 (1988) pp.1153-1163

قدرة الفصل الزمنية المتعلقة بقياسات عمر البوزيترون

اعداد الطالبة : قمر جنيد اشرف : أ.د. عبد الهادي صوفان

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة حمص - حمص - سورية

الملخص

يتضمن هذا البحث دراسة بعض بارمترات طيف عمر البوزيترون ومنها قدرة الفصل الزمنية FWHM وتوابع غاوص الأسية والرياضية والتي لها أهمية كبيرة في قياسات أزمنة الحوادث النووية واستمرارها وخاصة عمر البوزيترون بأنواعه المختلفة في العديد من المواد باستخدام برنامج scilab، وتمت دراسة العلاقة بين الانحراف المعياري σ وقدرة الفصل الزمنية FWHM لبعض المنظومات الطيفية المرجعية المختارة وتبين لنا أنها طردية، وقمنا بدراسة منظومة طيفية تستخدم محلل متعدد القنوات (32 ألف قناة) فتم إيجاد قدرة الفصل الزمنية في القناة الواحدة 50ps .

وشملت الدراسة قدرة الفصل الطاقية لمجموعة من النظائر المشعة ^{56}Mn ، ^{137}Cs ، ^{22}Na ، ^{60}Co وتبين لنا أنها تعتمد على النظير المشع حيث وجدنا أن أفضل قدرة فصل مئوية كانت 9.32% للكوبالت ^{60}Co .

وعند تحليل نظير الكوبالت ^{60}Co باستخدام برنامج scilab تم حساب قدرة الفصل المئوية للقيمة الطيفية الأولى وكانت تساوي 10.18%، و بدراسة قدرة الفصل الزمنية لنظير الصوديوم ^{22}Na تم الوصول إلى قدرة الفصل المئوية لأشعة غاما المستخدمة في الفناء وكانت تساوي 9.68% .

الكلمات المفتاحية : قدرة فصل زمنية - مونتي كارلو - نظائر مشعة.

The Time Resolution Power Related to positron lifetime measurements

Physic Department – Science College – Homs University –Homs – Syria

Abstract

This research includes a study several parameters of the positron lifetime spectrum ,including the time resolution power FWHM and the Gaussian exponential ,mathematical functions , these parameters are of great importance in measuring the timing and duration of nuclear events , particularly the lifetime of various positron types in numerous materials, using scilab software, this study investigated the relationship between the standard deviation σ and the time resolution power FWHM selected reference spectroscopic systems findings revealed a proportional relationship between them. Furthermore, we investigated a spectroscopic system utilizing a multichannel analyzer (32,000 channels), it was found that the time resolution power in a single channel to be 50ps , study included the energy resolution power for a set of radioactive isotopes ^{60}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{56}Mn and findings demonstrated that it depends on the specific radioactive isotopes where found that the best percentage resolution was 9.32% for cobalt ^{60}Co . When analyzing the cobalt isotopes ^{60}Co using the scilab program, was calculated that the percentage resolution power for the first spectral peak and it was equal to 10.18%. by studying the time resolution power for sodium isotope ^{22}Na , the percentage resolution power of the gamma rays used in annihilation was achieved with a value of 9.68%.

Keywords: Time resolution power - Monte Carlo- Radioactive isotopes.

1- مقدمة نظرية :

تُعد قدرة الفصل الزمنية إحدى المعايير الأساسية لتقييم كفاءة المنظومة الطيفية المستخدمة في قياس الأحداث الزمنية ، ويتم تحديد هذه القدرة من خلال قياس عرض القمة عند منتصف المنحني (Full Width at Half Maximum- FWHM) ، حيث يعكس هذا المؤشر مدى قدرة المنظومة على التمييز بين إشارتين أو حدثين متقاربين زمنياً ، وكلما انخفضت قيمة FWHM ، ازدادت قدرة المنظومة على الفصل الزمني، مما يجعل هذا المعيار المفتاح الأساسي في حدود أداء المنظومة واستقرارها في التطبيقات الزمنية عالية الدقة منها :

أ- مطيافية عمر البوزيترون (PALS): تستخدم لدراسة العيوب البلورية والفراغات في المواد حيث كلما قلت FWHM زادت القدرة على فصل المكونات المختلفة في المجال الزمني (مثل الفصل بين τ_1 و τ_2).

ب- التصوير الطبي (مثل PET - التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني): تحدد بدقة موقع الأورام أو التشوهات ، منظومة PET ذات أقل FWHM توفر صوراً أوضح.

ج- فيزياء الجسيمات : تُقاس زمن تفكك في الجسيمات قصيرة العمر .
ومن ضمن أهداف دراسة قدرة الفصل:

1- تحسين قياسات قدرة الفصل : اي تحديد الحدود الفيزيائية للمنظومة الطيفية (مثلاً : ما هو أصغر فارق زمني يمكن قياسه).

2- مقارنة أداء الاجهزة: مثل مقارنة كواشف ال γ (LaBr₃ vs NaI) بناءً على قيم FWHM .

3- تحليل البيانات بدقة : في منظومات PALS تساعد FWHM على فصل الإشارات المرتبطة بالعيوب الصغيرة والكبيرة في المادة .

4- تصميم منظومات طيفية مستقبلية : اي تطوير كواشف والإلكترونيات ذات زمن استجابة أسرع لتحقيق أفضل قيمة لقدرة فصل.

العوامل المؤثرة على قدرة الفصل:

1- أداء الكواشف (Detectors): المواد المستخدمة (مثل BaF_2 سريع الاستجابة مقارنة ب (Nal) .

2- الإلكترونيات (Electronics): مثل قدرة فصل مبدلات الزمن (Digital - to - Converters - TDCs Time) .

3- التوهين في العينة (sample Attenuation): في التصوير الطبي قد تسبب العينات الكثيفة تدهوراً في تحديد قدرة فصل بدقة .

بشكل عام ، تعتبر قدرة الفصل (FWHM) أداة هامة في تحليل العناصر المشعة مثل الكوبالت والصوديوم [1] و يعبر قدرة تحليل الكاشف Resolution عن قدرة الكاشف على الفصل بين قيمتين للطاقة ، وتقاس بقيمة (Full Width at Half (FWHM)) Maximum) للقيمة التي تعبر عن أشعة غاما الصادرة عن منبع (^{60}Co) عند طاقة (1.3MeV) ولتحديدها نضع منبع عياري (^{60}Co) على بعد (25mm) من الكاشف بحيث يعطي معدل عد لا يقل عن (1000 c/s) عند الطاقة (1.3MeV) ثم نحسب قيمة FWHM بوحدة (KeV) عند تلك القمة [2]

قياسات عمر البوزيترون (PALS) هي تقنية تستخدم لدراسة البنية المجهرية للمواد كما تعتمد تقنية PALS على قياس الزمن بين حقن البوزيترون في المادة واكتشاف أشعة غاما الناتجة عن الفناء حيث تتكون مطيافية البوزيترون من :
منبع البوزيترونات مثل ^{22}Na وكاشفات أشعة غاما ووحدات إلكترونية مثل وحدات التوقيت والمطابقة ومبدلات الوقت إلى سعة (TAC) لتحليل البيانات [3]
التحديات في تحسين قدرة الفصل الزمنية :

1- زمن استجابة الكواشف : يجب أن تكون الكواشف المستخدمة في PALS سريعة الاستجابة لتسجيل الأحداث في نطاق البيكو ثانية [4,5]

2- التشويش (Noise): التشويش في المنظومة يمكن أن يقلل من جودة قدرة الفصل الزمنية ويؤثر على دقة القياسات [6]

3- تقنيات المعالجة : استخدام خوارزميات معالجة الإشارات يمكن أن يحسن من قدرة الفصل الزمنية [7]

طرق تحسين قدرة الفصل الزمنية في PALS:

1- تحسين تصميم الكواشف :استخدام كواشف سريعة الاستجابة مثل كواشف الوميض (Scintillation Detectors) المصنوعة من مواد مثل LYSO أو LaBr3.

2- تقليل التشويش :استخدام تقنيات تصفية الاشارات وتصميم دوائر إلكترونية ذات تشويش منخفض.

3- استخدام خوارزميات معالجة الإشارات :مثل تحويل فورييه السريع (FET) لتحليل الإشارات بسرعة .

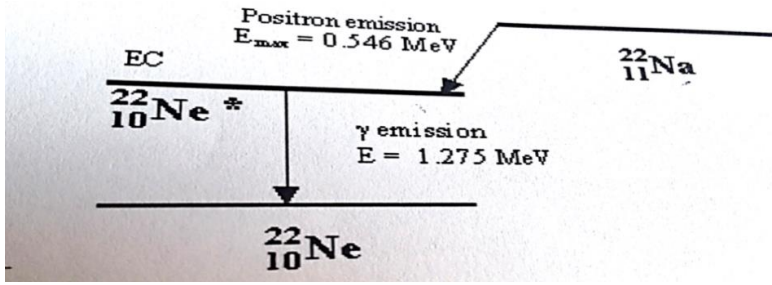
تعتبر قدرة الفصل الزمنية جزء من مطيافية عمر البوزيترون التي تستخدم في دراسة بنية المادة وتحسين خصائصها و التي تشغل تفكير العديد من الباحثين والمهتمين في مجال دراسة بنية الالكترونية والجزيئية للمادة حيث لا يزال هناك صعوبات كبيرة تواجه العلماء للحصول على قدرة فصل صغيرة وفي هذا البحث سوف نسلط الضوء على هذا المفهوم نظراً لأهميته في تحليل الطيف للحصول على النتائج التي نبحث عنها و إهمال النتائج الأخرى .

1-1 - مخططات تفكك النظائر المشعة :

نورد في الشكل (1) مخطط النظير المشع ^{22}Na الذي يستخدم في تقانة عمر البوزيترون والذي درسنا فيه قدرة الفصل الزمنية

يظهر لدينا من الشكل مخطط تفكك صوديوم ^{22}Na ذات عمر نصف مقداره (2.603year

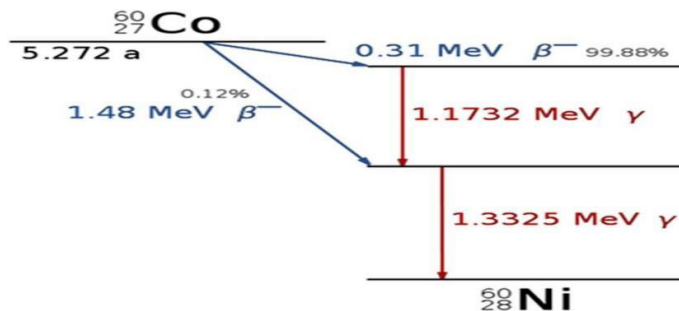
ومصدراً لبوزيترونات ذات الطاقة (0.546 MeV) ومصدر أشعة غاما الأتية بطاقة مقدارها (1.265 MeV) ومن ثم يعود إلى حالة استقرار ويستخدم هذا النظير المشع بدراسة عمر البوزيترون .



الشكل (1)

يظهر في الشكل (2) مخطط تفكك الكوبالت ^{60}Co يمتاز بعمر نصف مقداره (year 5.272) ويصدر أشعة غاما بطاقتين مقدارهما (1.1732 MeV) و (1.3325 MeV)

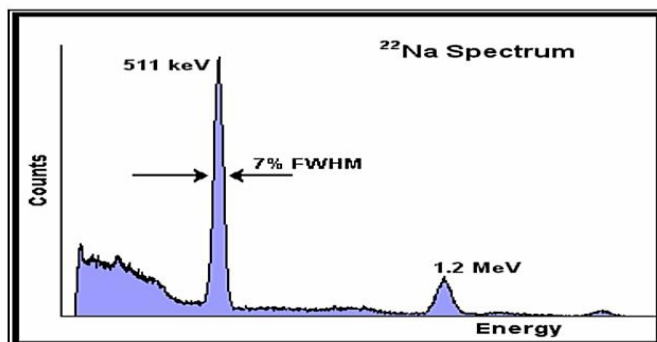
ومن ثم يعود إلى حالة الاستقرار والذي يستخدم هذا النظير المشع في المعايرة .



الشكل (2)

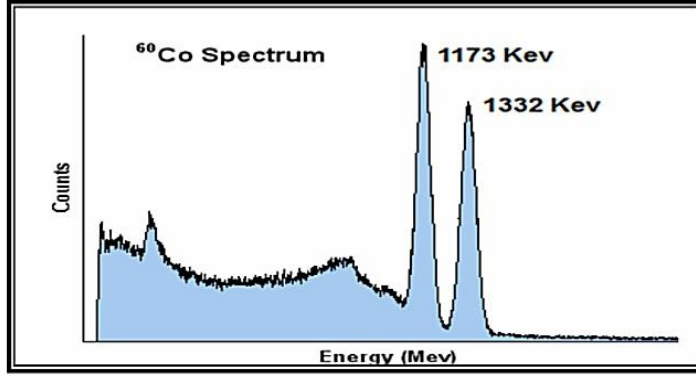
1-2- رسوم البيانية للنظائر المشعة :

طيف النظير المشع ^{22}Na : يظهر في الشكل (3) رسم البياني لطيف نظير المشع الصوديوم ^{22}Na له قمة قدرة الفصل الطاقية لفناء البوزيترون عند (511KeV) و $\text{FWHM}=7\%$ هذه القيمة تعبر عن قدرة الفصل الطاقية للكاشف والتي تقوم بفصل القمم المتقاربة ونلاحظ قمة قدرة الفصل الطاقية لأشعة غاما عند (1.2MeV) .



الشكل (3)

طيف النظير المشع ^{60}Co : في الشكل (4) يظهر فيه قمتين طاقتين لطيف الكوبالت ^{60}Co (1332KeV و 1173KeV) ونلاحظ عدم اندماج القمتين رغم تقاربهما في الطاقة ويكون الفصل واضح لأن الكاشف يمتلك قدرة فصل جيدة تكفي لتمييزهما.



الشكل (4)

1-3- تابع غاوص الرياضي:

إن الطيف النظري البوزيتروني يكون مؤلف من مجموعة طيوف و كل طيف يمثل بارمتر أو أكثر وهذه البارميترات عادة ما تكون ملتفة فيما بينها (مدمجة convolyted) وفق العلاقة الآتية :

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

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

تُعطى المركبة المدمجة للطيف C_{con} بالعلاقة :

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

تتكون هذه المركبة من تكامل المنحنيات مع التوزيع اللوغاريتمي العادي الموضح

بالعلاقة التالية :

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

المركبة المستمرة للطيف تعتمد 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 والمعرفة بالعلاقات التالية :

$$\tau = \int_0^{\infty} \ln(\lambda) d\lambda \lambda^{-1} = \tau_0 \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (4)$$

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

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 ثلاث 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 $G(t; FWHM_2, \Delta)$ هو تابع غاوص الزمني يتمركز في Δ و $FWHM$ (Full
Width at Half Maximum) العرض الكامل عند منتصف القيمة العظمى (ويبدل
على قدرة الفصل الزمنية) f_i العامل النسبي للحد الرقم i

النموذج الثاني لتابع الحل هو تابع غاوصي الأسّي (Exponential sided) ESG
Gaussian function) وهو تابع رياضي يمثل اندماج (التقاف) تابع غاوص مع
تابعين أسيين 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_l, τ_r تشير إلى بعض الثوابت تسمى τ_- يسار و τ_+ يمين على الترتيب كما هو
موضح في الشكل (1) ، والرمز \otimes يشير إلى الجداء المباشر للتوابع الأسية الملتقة :

من أجل تابع غاوص الأول تأخذ العلاقة (1) في المادة 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 [3]

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

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

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

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

حيث σ الانحراف المعياري كما ذكرنا سابقاً

1-4- قدرة الفصل الطاقية : تم دراسة قدرة الفصل الطاقية للعديد من النظائر المشعة من خلال المعادلة الآتية :

$$R = \frac{\delta E}{E} * 100$$

حيث R: قدرة الفصل المئوية . : δE عرض الطاقى E: الطاقة.

Source	H ₀ (channel)	FWHM	E(KeV)	R(%)
⁵⁶ Mn	1885	293.98	834	15.95
¹³⁷ Cs	1517	241.81	661.64	15.94
	1153	167.53	511	14.53
²² Na	2942	284.82	1274.5	9.68
	2712	276.12	1173.2	10.18
⁶⁰ Co	3084	287.64	1332.5	9.32

الجدول (1)

وبالاستعانة من الجدول (1) المرجعي [8] :

تم حساب قدرة الفصل طاقياً لنظير ^{56}Mn بإستخدام العلاقة السابقة :

$$R(\%) = \frac{293.98}{1885} * 100 = 15.59$$

وهي قريبة من القيمة المرجعية والتي تساوي 15.95

والخطأ المرتكب لحساب قدرة الفصل $\Delta R = 0.053\%$

وبحساب قدرة الفصل لنظير ^{22}Na :

$$R(\%) = \frac{284.82}{2942} * 100 = 9.68$$

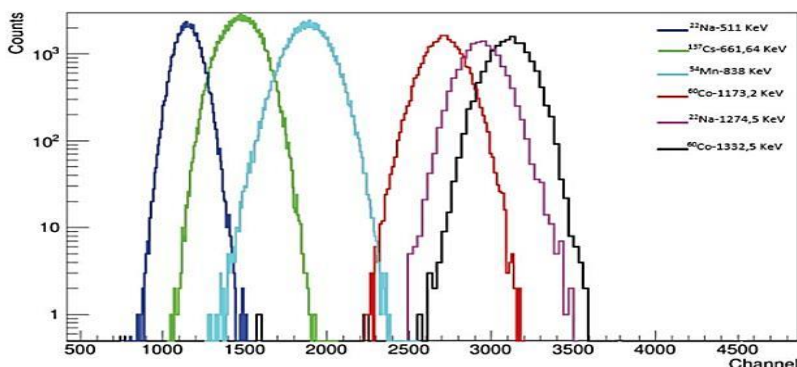
$$\Delta R = 0.034\%$$

و قدرة الفصل لنظير ^{60}Co :

$$R(\%) = \frac{287.64}{3084} * 100 = 9.32$$

$$\Delta R = 0.032\%$$

يبين لنا الشكل (5) القمم الطاقية المنبعثة عن النظائر المشعة.



الشكل (5)

2- هدف البحث : تحليل طيف أشعة غاما المتعلقة بقياسات عمر البوزيترون للحصول على المعطيات التي يحتويها هذا الطيف مثل قدرة الفصل للكوبالت ^{60}Co والصوديوم ^{22}Na .

3- مواد وطرق البحث :

3-البرامج المستخدمة في دراسة الفناء البوزيتروني:

Programs Used in Positron Annihilation Studying

برنامج PALSfit :

PALSfit Program

هو برنامج حاسوبي يستخدم لتحليل أطياف عمر البوزيترون والتوابع المتعلقة بها. وهو من البرامج العالمية التي تُستخدم على نطاق واسع من قبل الباحثين في هذا المجال. يتكون البرنامج من وحدتين ؛ وحدة خاصة بقدرة الفصل الزمنية ResolutionFit والثانية خاصة بعمر البوزيترون PositronFit . والبرنامج موجود في قسم الفيزياء في كلية العلوم بجامعة حمص .

برنامج Scilab:

Scilab Program

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 الحاسوبية الأخرى.

برنامج Monte carlo :

يستخدم هذا البرنامج على نطاق واسع في مجالات مثل الفيزياء النووية ، الهندسة والاقتصاد ، الفكرة الأساسية هي توليد عدد كبير من النتائج (محاكاة) واستخدامها لتقدير الخصائص الإحصائية ووسيلة لمحاكاة سلوك (مثل كاشف أشعة غاما) وتقدير

دقته في فصل الإشارات ، تعتبر طريقة مونتي كارلو في تحليل الأطياف جسر بين النظري والتجربة و تسمح ب : توقع الأطياف قبل التجربة وفهم تأثير العوامل المختلفة، من تحديات طريقة مونتي كارلو :

1-الوقت الحسابي : يتطلب عدداً كبيراً من الأحداث للحصول على نتائج دقيقة.

2- تعقيد النمذجة : قد يتطلب النموذج الرياضي معادلات معقدة لوصف المنظومة بدقة[9].

4- النتائج التجريبية :

4-1- العلاقة بين قدرة الفصل الزمنية FWHM والانحراف المعياري σ :

تم استخدام برنامج scilab لدراسة قدرة الفصل الزمنية والذي له شكل التابع غاوسي (Gaussian Function) هذا النموذج يستخدم عادةً لتمثيل قدرة الفصل الزمنية في تقنيات مثل PALS (مطيافية عمر البوزيترون) و في هذه الاطار تم دراسة ما يلي:

1- قمنا بتحديد الانحراف المعياري في المنحني الغاوسي : قسنا عرض المنحني عند نصف قمته العظمى مما يعطى فكرة عن مدى تمركز أو انتشار الإشارة حول القيمة المتوسطة وتبين لنا أنه كلما زاد FWHM زاد الانحراف المعياري والعكس صحيح.

حسبنا الانحراف المعياري σ من خلال العلاقة التالية :

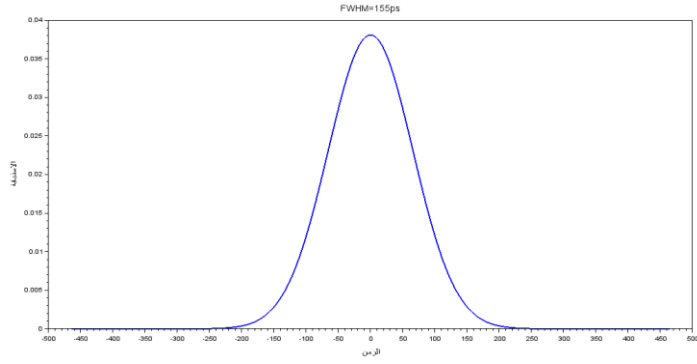
$$\sigma = \frac{FWHM}{2.355}$$

2- قمنا بحساب نصف القيمة العظمى (half_max): أوجدنا half_max والتي تمثل النقطة التي يكون عندها المنحني قد انخفض إلى نصف قيمته العظمى.

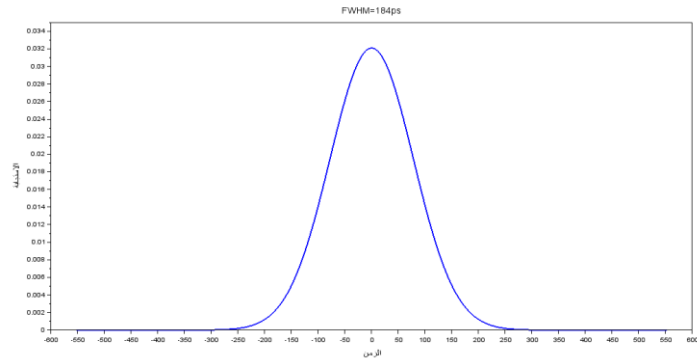
رسم الطيوف : قمنا برسم طيوف FWHM بالاعتماد على بعض القيم المرجعية [10,11,12] وذلك يظهر في الأشكال (6) و (7) و (8) وتوصلنا للنتائج في الجدول (2):

sigma	half_max	maxG	FWHM
65.817410	0.0190404	0.0380807	155
78.131635	0.0160394	0.0320789	184
93.418259	0.0134148	0.0268296	220

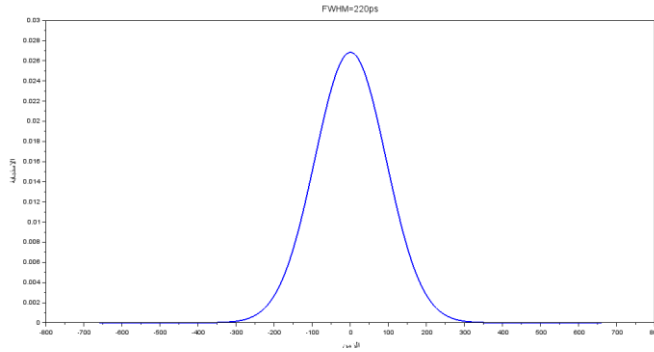
الجدول (2)



الشكل (6)



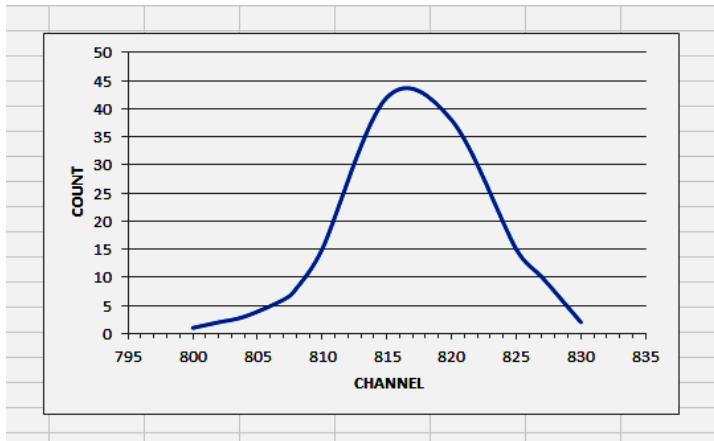
الشكل (7)



الشكل (8)

4-2- حساب قدرة الفصل الزمنية في قناة واحدة:

تم حساب قدرة الفصل الزمنية لمحلل متعددة الأقنية MCA يحتوي على 32 ألف قناة وذلك باستخدام نظام المطابقة والنظير المشع ^{60}Co فحصلنا على الطيف الذي يظهر في الشكل (9) :



الشكل (9)

ثم حسبنا قدرة الفصل الزمنية في القناة الواحدة وتبين لنا أنها تساوي 50ps وهي قريبة من القيمة المرجعية والتي تساوي 40ps [1]

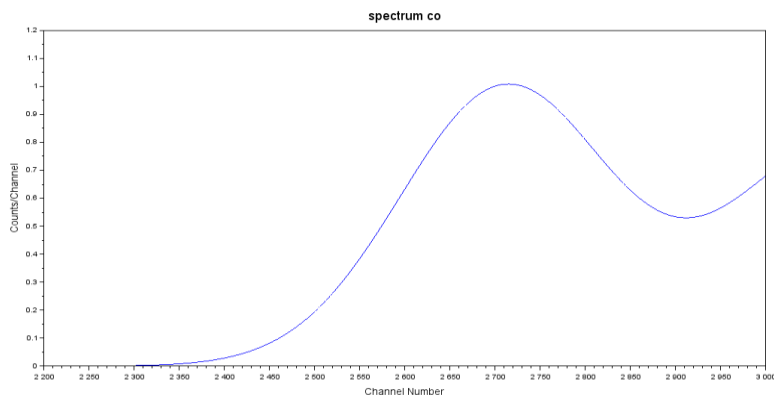
4-3- حساب قدرة الفصل الطاقية بإستخدام برنامج scilab للكوبالت ^{60}Co والصوديوم ^{22}Na :

قمنا بتحليل طيوف أشعة غاما للنظيرين المشعين ^{60}Co والذي يمتاز بقميتين طاقيتين 1173KeV و 1332 KeV والصوديوم ^{22}Na والذي له قمة طاقية واحدة ل غاما فأوجدنا الانحراف المعياري وقدرة الفصل الطاقية ونصف القيمة العظمى للقمم وذلك باستخدام قيم مرجعية من الجدول (1) ومن ثم رسمنا طيوف ^{60}Co و ^{22}Na في الأشكال (10) و (11) على التوالي .

طيف كوبالت ^{60}Co :

القيم	$H_0(\text{channel})$	FWHM	half_max	الانحراف المعياري (σ)	energy_resolution_peak
القمة الأولى	2712	276.12	0.4999999	117.25737	10.18
القمة الثانية	3048	287.64	0.3947114	122.14946	9.32

الجدول (3)

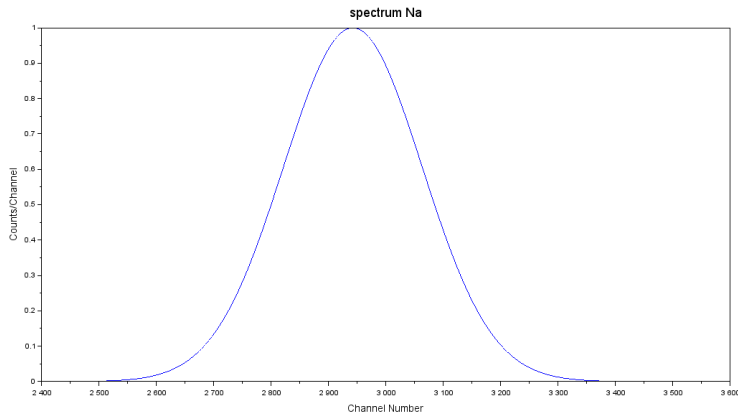


طيف الصوديوم ^{22}Na :

الشكل (10)

half_max	energy_resolution_peak	sigma	FWHM	H_0 (channel)
0.4999998	9.6811693	120.94268	284.82	2942

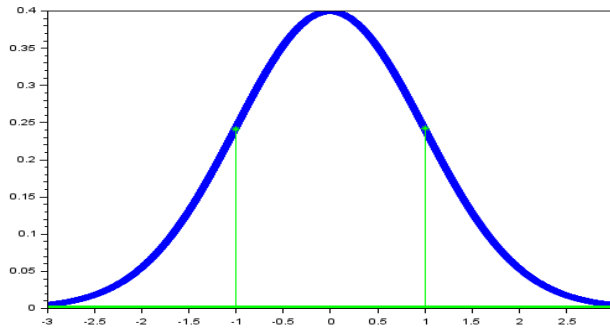
الجدول (4)



الشكل (11)

4-4- تحليل طيف افتراضي باستخدام طريقة مونت كارلو :

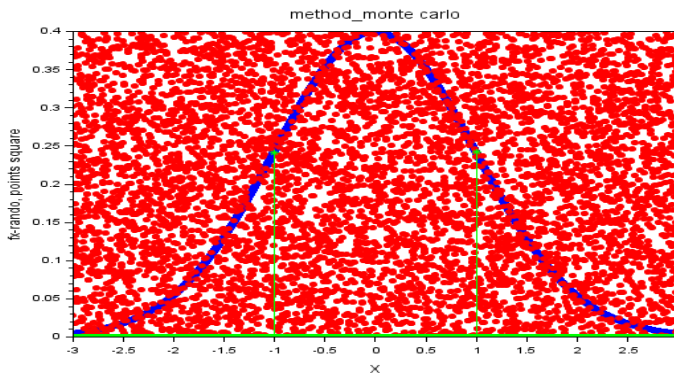
استخدمنا مونت كارلو برمجياً بواسطة برنامج scilab فحصلنا على الطيف في الأشكال (12) و (13):



الشكل (12)

قمنا بحسب يدوياً قيمة FWHM من الرسم حيث العرض $1 - (-1) = 2$ والطول قيمته

$$\begin{aligned} \text{FWHM} &= 2 * 0.2419707 \\ &= 0.4839414 \end{aligned}$$



الشكل (13)

ف قمنا بإيجاد أصغر قدرة فصل برمجياً قيمتها $\text{FWHM} = 0.4839414$ من خلال توليد طيف افتراضي بطريقة مونت كارلو في الحالة المثالية .

4-5- العلاقة بين العدّ (count) و قدرة الفصل الزمنية (FWHM):

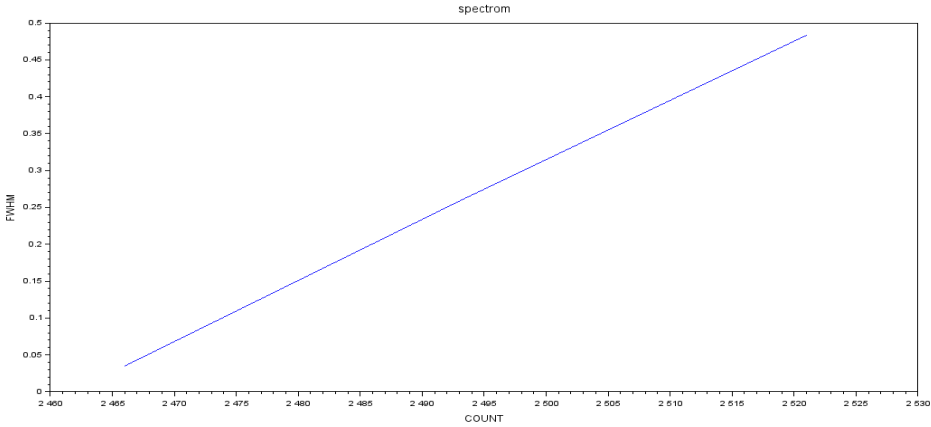
قمنا باستخدام طريقة مونتي كارلو في برنامج scilab حيث قمنا بتغيير المدخلات
فظهرت لدينا النتائج في الجدول (5) ومن أهمها قدرة الفصل الزمنية :

Internal Minus square	FWHM	Total Integral	Square size	percentage	Total points	Undercuve (count)	المدخلات a:بداية المجال b: نهاية المجال
0.5222760	0.4834575	1.0057335	2.3936537	0.4201667	6000	2521	a=-3 b=3
0.7359163	0.2586468	0.9945631	2.7925960	0.3561429	7000	2493	a=-3.5 b=3.5
0.9023557	0.1077661	1.0101219	3.1915382	0.3165	8000	2532	a=-4 b=4
0.9488226	0.0349691	0.9837917	3.5904805	0.274	9000	2466	a=-4.5 b=4.5
0.9701672	0.0088371	0.9790044	3.9894228	0.2454	10000	2454	a=-5 b=5
1.0167604	0.0017393	1.0184996	4.3883651	0.2320909	1100	2553	a=-5.5 b=5.5
0.994828	0.0002666	0.997494	4.7873074	0.2088333	1200	2506	a=-6 b=6
0.9825919	0.0000030	0.9825948	5.5851919	0.1759286	1400	2463	a=-7 b=7

الجدول (5)

نستنتج من الجدول (5) أن قدرة الفصل المثالية هي $FWHM=0.0088371$ وأنه كلما زاد معدل العدّ COUNT تزداد قدرة الفصل FWHM .

قمنا برسم بياني باستخدام scilab بين ال COUNT و ال FWHM فظهر لدينا المنحني الموضح في الشكل (14) :



الشكل (14)

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1- الاستنتاجات :

1- قمنا بدراسة العلاقة ما بين الانحراف المعياري σ وقدرة الفصل الزمنية FWHM من أجل عدة منظومات طيفية وتبين لنا أن الانحراف المعياري يزداد بزيادة قدرة الفصل الزمنية .

2- قمنا بدراسة قدرة الفصل الزمنية في القناة الواحدة لمنظومة طيفية تستخدم محلل متعدد الأقفية يحتوي على 32 ألف قناة وتبين لنا أنها تساوي 50ps في القناة الواحدة

وهذا يتوافق مع متطلبات الأجهزة الحديثة حيث تتراوح قدرة الفصل الزمنية في القناة الواحدة حوالي 40ps .

3- بدراسة العلاقة بين قدرة الفصل المئوية R و FWHM للعديد من النظائر المشعة مثل ^{60}Co ، ^{22}Na ، ^{56}Mn ، ^{137}Cs وتبين لنا أن قدرة الفصل المئوية R تكون مثالية من أجل ^{60}Co وبلغت قيمتها 9.32% والذي يستخدم في معايرة منظومة عمر البوزيترون الطيفية .

4- وجدنا عند تحليل طيف الكوبالت ^{60}Co باستخدام برنامج scilab من أجل قمة الطيفية الأولى والتي طاقتها تساوي 1173.2 KeV كانت قدرة الفصل المئوية لها $R=10.18\%$.

5- تم تحليل طيف الصوديوم ^{22}Na وتبين لنا أن قدرة الفصل المئوية لأشعة غاما كانت $R=9.68\%$ عند طاقة 1274.5 KeV .

6- قمنا بتحليل رياضي لطيف افنراضي باستخدام طريقة مونتي كارلو فحصلنا على قدرة فصل زمنية مثالية قيمتها $FWHM = 0.4839414$ ومن أجل عدة شروط مثل (مجال طيف يبدأ من $a=-3$ وينتهي عند $b=3$ والقيمة الوسطى $\text{mean}=0$ والانحراف المعياري $\text{std}=1$ ومقدار الخطوة $\text{step}=0.001$) .

5-2- التوصيات :

- 1- دراسة نظائر إضافية .
- 2- استخدام برامج حاسوبية لدراسة طيفوف الفناء البوزيتروني وأشعة غاما .

المراجع

- [1] ORTEC, E. (1984). Experiments in Nuclear Science AN34, Laboratory Manual. Tennessee: EG&G ORTEC.
- [2] الفيزياء النووية (1) (أ.د. عبد الهادي صوفان, أ.د. سلمان ريشان (2008- 2009) م, جامعة حمص – حمص – الجمهورية العربية السورية) .
- [3] Baptista, L., Ferreira, L. M. M., Mateus, R. C. V., & GREI-Radiation, E. (2020). PALS–Setup optimisation and application to macromolecular materials characterization.
- [4] Knoll, G. F. (2010). Radiation detection and measurement. John Wiley & Sons.
- <https://www.wiley.com/WileyCDA/Section/id-301672.html>
- [5] Leo, W. R. (1994). Techniques for nuclear and particle physics experiments: a how-to approach. Springer Science & Business Media.
- [6] Gidley, D. W., Peng, H. G., & Vallery, R. S. (2006). Positron annihilation as a method to characterize porous materials. Annu. Rev. Mater. Res., 36(1), 49-79.
- [7] Kansy, J. (1996). Microcomputer program for analysis of positron annihilation lifetime spectra. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers.
- [8] Kaur, M., Singh, B., & Sharma, M. K. (2021). Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications. A A, 1(2), 1.
- [9] Braaten, E., & Weller, G. (1979). An improved low-discrepancy sequence for multidimensional quasi-Monte Carlo integration.

[10] Bes, R., & Vancraeynest, A. (2023). PALSRAm: A three-detector positron annihilation lifetime spectrometer for γ -emitting radioactive materials. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers .

[11]Dimanchev, M., Shofan, A., Troev, Troyo D., Serna, J. (1992) Positron Annihilation in $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Materials Science Forum, 105. 1545-1548.

[12]Bosnar, D., Frišćić, I., Jerbić-Zorc, G., Makek, M., & Bosnar, S. (2009, May). Applications of positron annihilation spectroscopy. In Proceedings of International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, 4-8 May 2009, Vienna.

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}} = (30-50)\text{MeV}$ بطريقة VMA

الأستاذ المشرف
أ.د. عبد الهادي صوفان

إعداد
كوثر وليد الجزار

الملخص

تم في هذا البحث تحديد البارامترات الهندسية الوصفية للكمونات الحقيقية والتخيلية والقيم العددية للعزوم من المرتبة الثانية والكمونات الضوئية الموافقة لها وتم تمثيلها بيانياً بالإضافة إلى إيجاد قيم المقاطع العرضية للمنظومة النووية المدروسة (${}^6\text{Li} + {}^{24}\text{Mg}$) في المجال الطاقي المحدد $(30 - 50)\text{MeV}$ وذلك باستخدام طريقة التقريب التغييري للعزوم (VMA) .

وأظهرت النتائج التي حصلنا عليها توافق جيد ومنسجم إلى حد كبير مع القيم المرجعية.

الكلمات المفتاحية:

التقريب التغييري للعزوم، المقطع العرضي للتفاعل، الكمون الضوئي، المقطع العرضي التفاضلي، التكاملات الحجمية.

"The scattering of the ${}^6\text{Li}$ nucleus by the ${}^{24}\text{Mg}$ target nucleus in the energy range $E_{\text{Li}} = (30-50) \text{ MeV}$ by (VMA) method."

Abstract:

The results demonstrated a good agreement between the obtained values and the corresponding reference data.

In this work, the geometrical descriptive parameters of the real and imaginary optical potentials, as well as the numerical values of the second-order moments and their corresponding optical potentials, were determined and graphically represented. In addition, the cross sections of the studied nuclear system were evaluated within the energy range of 30–50 MeV using the Variational Moment Approach (VMA) method. The obtained results showed good agreement and a high degree of consistency with the reference data.

Keywords:

Variational Moment Approach, reaction cross section, optical potential, differential cross section, volume integral.

المقدمة:

الفيزياء النووية هي أحد فروع الفيزياء الحديثة التي تركز على دراسة نواة الذرة وما يحدث بداخلها من تفاعلات معقدة. وبالرغم من أن النواة تشكل جزءاً صغيراً جداً من حجم الذرة، إلا أن ما يحدث بداخلها يملك تأثيراً هائلاً على حياتنا بداية من توليد الطاقة، مروراً بالتطبيقات الطبية، إلى فهم نشأة الكون وتطوره. ظهرت الحاجة لفهم النواة وتفاعلاتها بدءاً من اكتشاف النشاط الإشعاعي وتطور العلم أكثر مع اكتشاف العناصر المشعة وصولاً إلى تحديد طبيعة النواة من خلال تجربة رذرفورد حيث أن هذه التجارب دفعت الباحثين للتعمق في فهم بنية النواة وسلوكها[1]. نظراً للتعقيد الكبير داخل النواة وللصعوبات التي واجهها العلماء في تلك المرحلة لفهم طبيعة القوى النووية أصبح من الضروري وضع نماذج تساعد في تفسير السلوك الفيزيائي للنوى الذرية حيث كل منها يسلط الضوء على زاوية معينة من سلوك النواة نذكر منها نموذج قطرة السائل ، نموذج النواة المركبة ،النموذج الطبقي ،نموذج غاز فيرمي ولعل أهم هذه النماذج النموذج الضوئي (optical model) الذي يدرس النواة كدراسة خواص الضوء من انعكاس وانكسار وامتصاص ففي هذه الحالة تنقسم موجة الجسيم الوارد إلى النواة إلى موجة منعكسة وموجة مرتدة وتدرس عن طريق ما يسمى بالكُمون المركب [2]. نظراً للنجاح الذي قدمه هذا النموذج في تفسير نتائج التجارب النووية كحساب المقاطع العرضية تم تطويره إلى نموذج آخر أكثر حداثة دُعي بالنموذج الضوئي التبددي والذي يعتبر بأن جزئي الكُمون الحقيقي والتخيلي مرتبطين ارتباطاً داخلياً من خلال العلاقة التبددية (6). وللمنموذج الضوئي التبددي فرعين أساسيين الأول يدعى بتحليل النموذج الضوئي التبددي (DOMA)، أما الثاني فيدعى بالتقريب التغايري للعزوم (VMA). في هذا البحث سنعمد طريقة (VMA) التي طبقت لدراسة تبعثر النيوكليونات بواسطة النوى في مجالات طاقة مختلفة ، ثم طورت

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$

بطريقة VMA

لدراسة تبعثر نواة بواسطة نواة أخرى والتي تعد من أهم الدراسات في الفيزياء النووية [3]
كتبعثر نواة الليثيوم بواسطة نوى أهداف مختلفة كالمغنيزيوم.

هدف البحث:

استنباط شكل الكمونات الضوئية للمنظومة النووية المدروسة في المجال الطاقي المحدد
ودراسة تابعيتها للطاقة وإيجاد البارامترات المثالية للكمون الضوئي وأيضاً تحديد مقاطع التفاعل
باستخدام طريقة التقريب التغييري للعزوم (VMA) .

الأسس الرياضية لطريقة VMA [4,5,6,7,8,9,10,11] :

تعتمد هذه الطريقة في حسابها التكاملات الحجمية (الحقيقية والتخيلية) في استنباطها لشكل الكمون ولوسطائه الهندسية (البارامترات).

يعطى الكمون الضوئي الناتج عن التأثير المتبادل بين القذيفة والهدف بالعلاقة التالية:

$$U(r, E) = V(r, E) + iW(r, E) + V_{LS}(r, E) + V_c(r) \quad (1)$$

كما هو موضح من العلاقة (1) إن الكمون الضوئي المتشكل ناتج من اتحاد عدة مكونات أساسية . حيث يمثل الحد الأول $V(r, E)$ الجزء الحقيقي للكمون الضوئي الذي يتكون بدوره من مركبتين الأولى تعبر عن كمون هارتي فوك أما الثانية فتدعى بالكمون التبددي والتي بدورها تتكون من حدين تبددين سطحي $\Delta V_d(r, E)$ وحجمي $\Delta V_v(r, E)$.

يعبر عن الجزء الحقيقي للكمون بالعلاقة التالية:

$$V(r, E) = V_{HF}(r, E) + \Delta V_d(r, E) + \Delta V_v(r, E) \quad (2)$$

أما الحد الثاني $iW(r, E)$ فيعبر عن الجزء التخيلي للكمون الضوئي الذي يتكون من مركبتين هما الكمون التخيلي السطحي $W_d(r, E)$ و الكمون التخيلي الحجمي $W_v(r, E)$ ويعبر عن ذلك بالعلاقة :

$$W(r, E) = W_d(r, E) + W_v(r, E) \quad (3)$$

يعبر الحد الثالث $V_{LS}(r, E)$ عن الكمون السيني المداري الذي يعطى بالعلاقة :

$$V_{LS} = -V_{LS}(E)(4r_{LS} \cdot a_{LS})^{-1} \cdot g(X_{LS}) \vec{L} \cdot \vec{\sigma} \quad (4)$$

أما الحد الأخير $V_c(r)$ فيمثل الكمون الكولومي .

تكتب علاقة الكمون بالشكل التالي:

$$U(r, E) = V_{HF}(r, E) + \Delta V_d(r, E) + \Delta V_v(r, E) + i(W_d(r, E) + W_v(r, E)) + V_{LS}(r, E) + V_c(r) \quad (5)$$

منهجية تطبيق طريقة VMA:

الخطوات المتبعة في هذه الطريقة هي إيجاد مكونات الكمون الضوئي وتعويضها في العلاقة (5).

العلاقة التبددية هي التي تربط بين الجزء الحقيقي للكمون الضوئي والجزء التخيلي :

$$\Delta V(r, E) = V_0(r, E) + \frac{P}{\pi} \int \frac{W(r, E')}{(E - E')} dE' \quad (6)$$

يعطى الكمون التبددي السطحي والتبددي الحجمي بالعلاقيتين :

$$\Delta V_V(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_s) \int_{E_0}^{\infty} \frac{w_V(r, E) dE}{(E - E_s)^2 - (E - E_s)} \quad (7)$$

$$\Delta V_d(r, E) = \frac{2}{\pi} (E - E_s) \int_{E_0}^{\infty} \frac{w_d(r, E) dE}{(E - E_s)^2 - (E - E_s)} \quad (8)$$

بالمكاملة نحصل على العلاقة :

$$\Delta V_w(E) = \frac{2}{\pi} (E - E_s) \int_{E_0}^{\infty} \frac{[r^2]_w(E) dE}{g_w(E) [(E - E_s)^2 - (E - E_s)^2]} \quad (9)$$

حيث يعبر $[r^2]_w(E)$ عن العزم من المرتبة الثانية ويتم توصيف تلك العزوم بعد تحديدها بعلاقة (براون-راو):

$$[r^2]_w(E) = [r^2]_{w_V}(E) + [r^2]_{w_d}(E)$$

$$[r^2]_{wd}(E) = \beta_2 \left[\frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_2^2} - \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_w^2} \right] \quad (10)$$

علماً أن $(\rho_w, \rho_2, \beta_2)$ تُمثّل الوسطاء الهندسية لبراون-راو ومن خلالها نحصل على أفضل توصيف للمنحنيات الناتجة حيث أُخذت بطريقة المطابقة بين القيم المرجعية للعزوم من المرتبة الثانية للجزء التخيلي للكمون والقيم الحسابية وفق علاقة (براون-راو) بينما E_0 تمثل في حالة النيوكليونات $E_0 = \frac{E_F}{2}$ وأيضاً تمثل بداية الامتصاص، لكن في حالة كون المقذوف نواة كالليثيوم في هذه الحالة فإن طاقة فيرمي تفقد المعنى لأن النواة المقذوفة ذات تركيب معقد مشابه لتركيب النواة الهدف لهذا يتم استبدال طاقة فيرمي بطاقة اختيارية E_S .

بعد تحديد العزوم التخيلية من المرتبة الثانية يتم الانتقال إلى تحديد الكمونات التخيلية (سطحية وحجمية) كالتالي:

$$[r^2]_{wv}(E) = \frac{4\pi R_w^3}{3A_p A_T} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi a_w}{R_w} \right)^2 \right] W_w(E) = g_v W_v(E) \quad (11)$$

$A_p A_T$ تمثل الأعداد الكتلية لكل من الهدف والقذيفة على الترتيب.

يتم حساب R_w من العلاقة:

$$R_w = r_w A^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

بعد إيجاد جميع الحدود في علاقة الكمون الكلي فإن (4) تأخذ الشكل التالي :

$$V(r, E) = \frac{J_0(E_S)}{g_v} [\exp \alpha (E - E_S) f(r_v) + \Delta V_w f(r_w) + \Delta V_d(E) g(r_d)] + i W_w f(r_w) + i W_d g(r_d) + V_{ls}(r, E) + V_C \quad (13)$$

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$

بطريقة VMA

$F(r_w)$ ، $g(r_d)$ عبارة عن توابع وود- ساكسون

$$g(r_d) = -a_i \frac{df(x_i)}{dr} , \quad F(r_w) = [1 + \exp(X_i)]^{-1}$$

$$\frac{d^2\psi}{dr^2} + \frac{2M}{\left(\hbar/2\pi\right)^2} (E - U)\psi = 0 \quad (14)$$

بعد الحصول على القيمة الجديدة للكمون يتم إدراجها في معادلة شرودينغر وبحلها باستخدام SPI-Genoa [12] نحصل على مقاطع التفاعل التفاضلية والكلية.

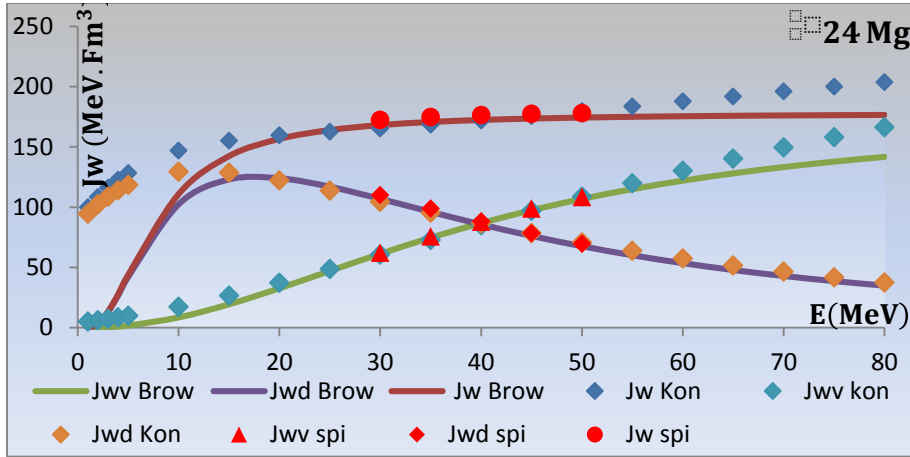
النتائج والمناقشة:

1- تم إيجاد البارامترات المثالية للكمون الضوئي الموضحة في الجدول (1) للمنظومة النووية المدروسة (${}^6\text{Li}+{}^{24}\text{Mg}$) بطريقة VMA.

الجدول (1)

E	V	r_v	a_v	W_v	r_v	a_v	W_d	r_d	a_d	σ
(MeV)	(MeV)	Fm	Fm	(MeV)	Fm	Fm	(MeV)	Fm	Fm	(mb)
30	313.0063	1.521	0.664	23.976	1.441	0.640	25.89	1.441	0.640	1544
35	306.2575	1.508	0.664	29.19	1.441	0.640	23.28	1.441	0.640	1556
40	298.3421	1.498	0.664	33.912	1.441	0.640	20.76	1.441	0.640	1555
45	289.6854	1.491	0.664	38.1	1.441	0.640	18.444	1.441	0.640	1549
50	280.5925	1.486	0.664	41.76	1.441	0.640	16.38	1.441	0.640	1540
$V_{so} = 0.85\text{Mev}$		$r_{so} = 0.96\text{ Fm}$						$a_{so} = 0.59\text{ Fm}$		

2- قمنا بتحديد قيم التكاملات الحجمية بالنسبة للجزء التخلي للكمون (السطحي والحجمي) بعد أن تم توصيفها بعلاقة (براون-راو) وتم دراسة تابعيتها بالنسبة للطاقة .



الشكل (1) يمثل تغيرات التكاملات الحجمية من المرتبة الثانية (العزوم) للكمون التخلي بجزئيه بالنسبة للطاقة .

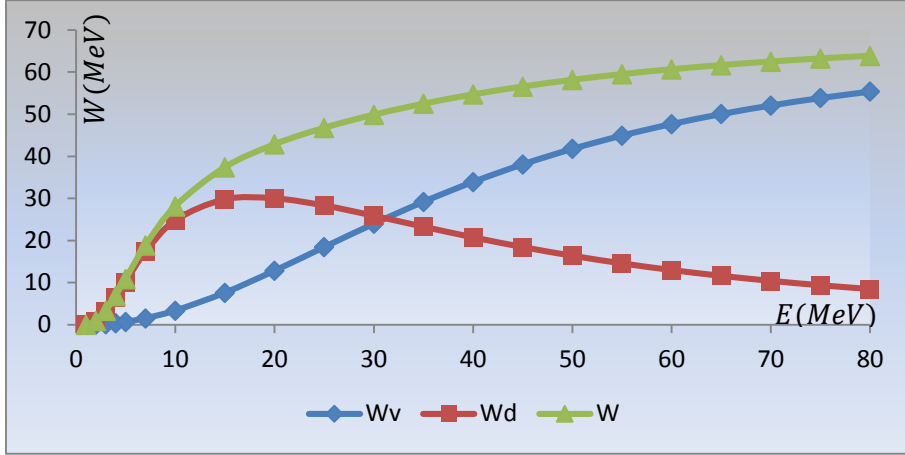
كما هو موضح من الشكل (1) تُظهر العزوم التخلي السطحية والحجمية سلوكاً وتبايناً طاقياً مختلفاً فيما بينها. فنجد أن العزم التخلي السطحي يزداد مع ازدياد الطاقة إلى أن يصل إلى قيمة عظمى ثم يبدأ بالتناقص مع ازدياد الطاقة ويعود ذلك إلى تناقص التأثيرات السطحية الناجمة عن المشاركة الفعالة للنوكليونات السطحية للنواة الهدف بالمقابل نجد أن العزم التخلي الحجمي يزداد بزيادة الطاقة أما بالنسبة للعزم التخلي الكلي فيبدى سلوكاً متزايداً في البداية ومن ثم استقراراً ملحوظاً وهذا يعود إلى الاختلاف بين سلوك العزم التخلي الحجمي والسطحي .

نلاحظ من الشكل أن التكاملات الحجمية التخلي (السطحية والحجمية) المحسوبة بطريقة VMA تظهر تقارباً جيداً من القيم التي حصلنا عليها من تصنيف كونيك [13] في المجال الطاقى (30-50) MeV.

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$

بطريقة VMA

3- وفقاً للجدول (1) وبالاعتماد على المنهجية المتبعة تم تحديد قيم الكمونات الضوئية التخيلية (السطحية والحجمية) وتمثيلها بيانياً في الشكل التالي:

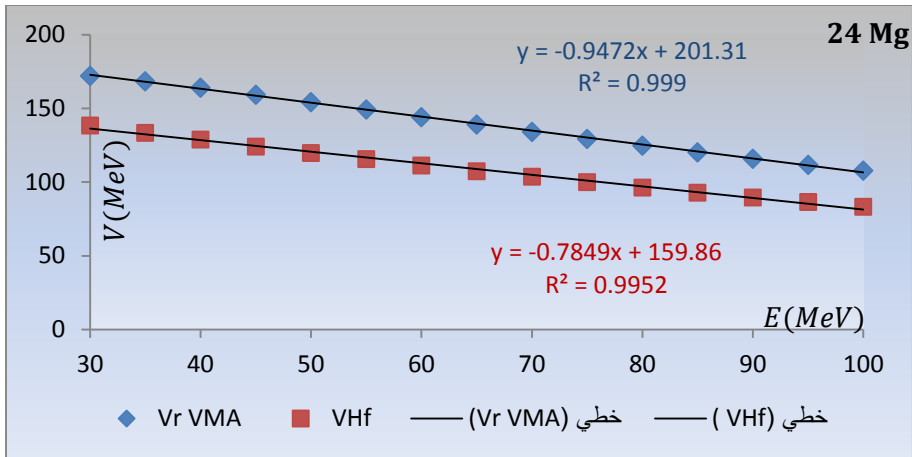


الشكل (2) يمثل تغيرات الكمونات الضوئية التخيلية (السطحية والحجمية) بالنسبة للطاقة للمنظومة النووية المدروسة .

نلاحظ من الشكل أن الكمون الضوئي يتبع سلوكاً مشابهاً لسلوك التكاملات الحجمية ويعود ذلك إلى العلاقة التي تربط بينهما $[r^2]_w = qw(E)$.

وأيضاً تسلك الكمونات الضوئية المحسوبة بطريقة VMA سلوك مشابه للكمونات التي حصلنا عليها من تصنيف كونيك [13] .

4- تم دراسة التغير الطاقي لكل من الكمون الحقيقي وكمون هارتي-فوك وتمثيلها بيانياً في الشكل التالي بناءً على النتائج التي حصلنا عليها من VMA:



الشكل (3) يمثل تغيرات الكمون الحقيقي وكمون هارتي-فوك بالنسبة للطاقة للمنظومة النووية المدروسة .

نلاحظ من هذا الشكل السلوك الخطي لكل من الكمون الحقيقي وكمون هارتي-فوك بالنسبة للطاقة وتم التعبير عن هذا السلوك بالمعادلات التالية :

$$V_r = -0.9472E + 201.31$$

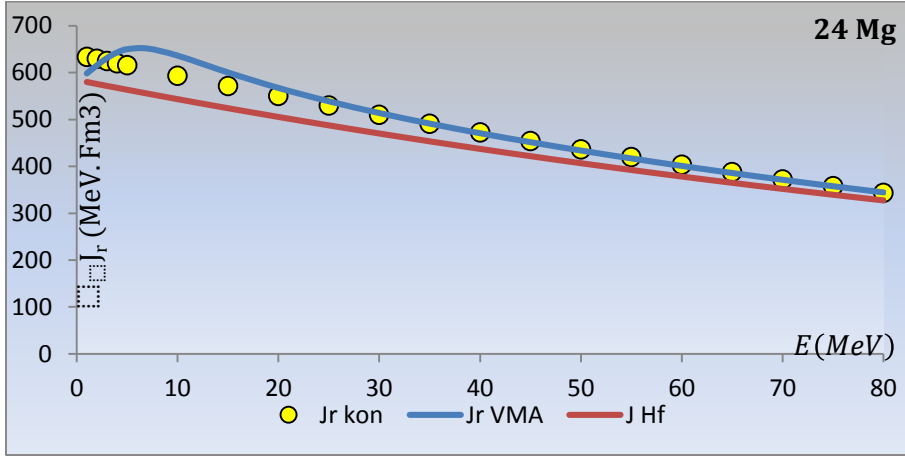
$$V_{Hf} = -0.7849E + 159.86$$

حيث أنه من خلال هذه العلاقات يمكننا تحديد قيم الكمون الحقيقي وكمون هارتي-فوك من أجل أي قيمة طاقة مختارة.

5- التابعة الطاقة للزوم الحقيقية للمنظومة النووية (${}^6Li+{}^{24}Mg$) في المجال الطاقى (30-50) MeV .

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$

بطريقة VMA

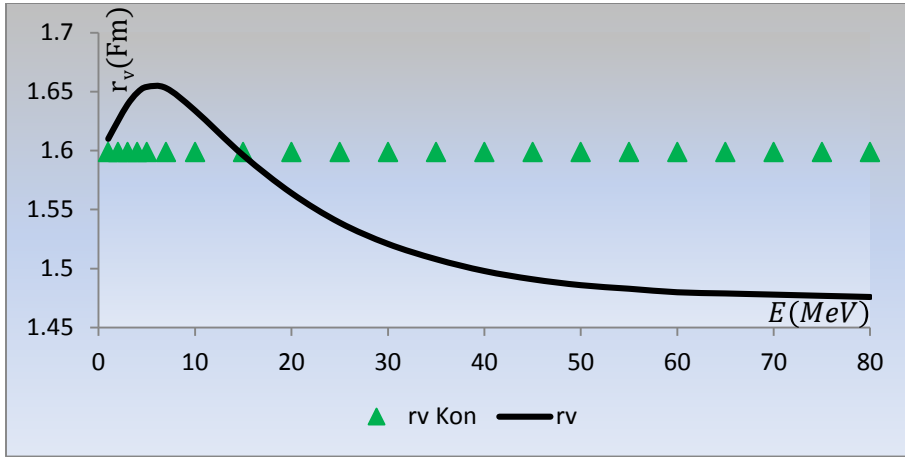


الشكل (4) يمثل تغيرات العزم الحقيقي وعزم هرتي فوك بالنسبة للطاقة.

نلاحظ من هذا الشكل أنه عند الطاقات المنخفضة يزداد العزم الحقيقي حتى يبلغ قيمة عظمى ثم يبدأ بعدها بالتناقص مع زيادة الطاقة. ويفسر هذا بأن القيمة العظمى للعزم الحقيقي تعكس ظاهرة يطلق عليها اسم ظاهرة الشذوذ العتبي للجزء الحقيقي للكمون الضوئي حيث تشير هذه الظاهرة إلى مساهمة مشتركة وفعالة لقنوات التفاعل المختلفة .

وأيضاً نلاحظ توافق جيد بين قيم العزوم الحقيقية للكمون الضوئي وفق طريقة VMA وتلك المحسوبة وفق التصنيف العالمي لكونيك [13] .

6- دراسة التابعية الطاقية لنصف قطر الكمون الحقيقي على المجال $(30-50)\text{MeV}$ للمنظومة النووية المدروسة.



الشكل (5) يمثل تغيرات نصف قطر الكمون الحقيقي بالنسبة للطاقة للمنظومة النووية المدروسة.

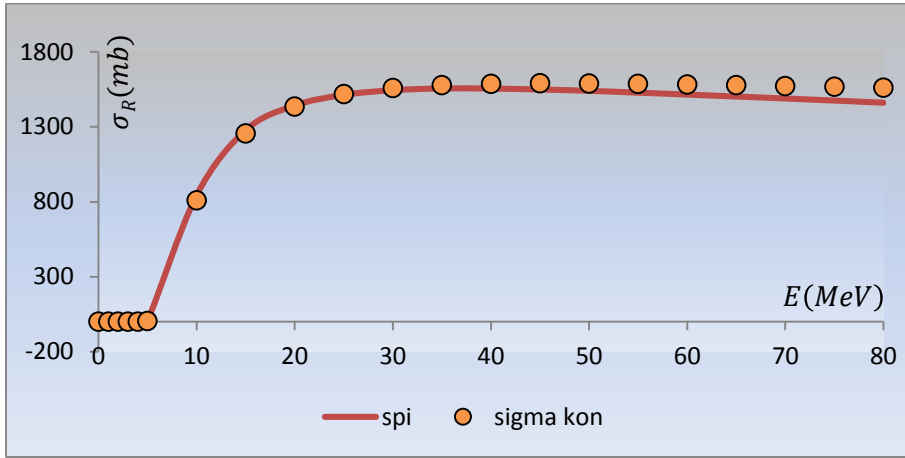
كما هو مبين من الشكل أن سلوك نصف قطر الكمون الحقيقي المحسوب وفقاً لطريقة VMA يبدأ بالتزايد إلى أن يصل إلى قيمة عظمى ويبدأ بعدها بالتناقص مع ازدياد الطاقة وهذا بدوره يعبر عن شذوذ سلوك نصف قطر الكمون الحقيقي الذي يرجع إلى مشاركة العديد من قنوات التفاعل المختلفة ضمن هذا المجال .

بينما نلاحظ سلوك نصف القطر الحقيقي الناتج من تصنيف كونيك [13] يأخذ قيمة ثابتة مع تغير طاقة المقذوف وبالتالي هذا لا يعكس التغيرات التي تطرأ على نصف القطر بشكل واضح ولا على التأثيرات المتبادلة بين القذيفة والهدف أيضاً.

7- تحديد قيم المقطع العرضي للتفاعل للمنظومة المدروسة (${}^6\text{Li}+{}^{24}\text{Mg}$) ودراسة تابعيتها للطاقة كما هو مبين في الشكل (6).

تبعثر نواة الليثيوم ${}^6\text{Li}$ بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $E_{\text{Li}}=(30-50)\text{MeV}$

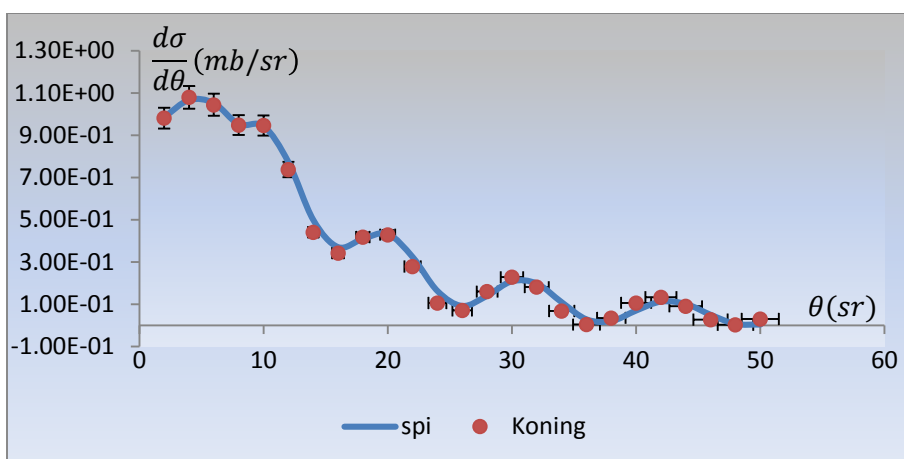
بطريقة VMA



الشكل (6) يمثل تغيرات المقطع العرضي للتفاعل ضمن المجال الطاقي المدروس .

نلاحظ أن المقطع العرضي للتفاعل يبدأ بقيم صغيرة عند الطاقات المنخفضة ومع زيادة طاقة المقذوف يزداد بشكل أكبر نتيجة مشاركة العديد من قنوات التفاعل وازدياد احتمال التفاعل بين نواة الليثيوم ونواة الهدف وبعد الوصول إلى حد معين من الطاقة نلاحظ أن المقطع العرضي للتفاعل يبدأ بالتشبع ويأخذ قيم شبه ثابتة ويظهر شكل المنحني وكأنه خط مستقيم تقريباً.

8- دراسة تغير المقطع العرضي التفاضلي بالنسبة للزاوية عند طاقة قذف ثابتة ضمن المجال الطاقي المدروس.



الشكل (7) يمثل تغيرات المقطع العرضي التفاضلي للمنظومة النووية المدروسة بالنسبة للزاوية عند الطاقة 30MeV .

نلاحظ من الشكل التوافق الجيد بين القيم الناتجة من برنامج SPI والقيم المحسوبة من تصنيف كونيك [13].

الاستنتاجات:

وفقاً لمنهجية VMA المتبعة في هذه الورقة البحثية وباستخدام الكودين (VMA-SPI) و SPI تم دراسة تبعثر الليثيوم بواسطة نواة الهدف ${}^{24}\text{Mg}$ في المجال الطاقي $(30-50)\text{MeV}$ وتم التوصل إلى العديد من النتائج نذكر منها :

1- حصلنا على قيم البارامترات المثالية للكمون الضوئي للمنظومة النووية المدروسة على المجال الطاقي $(30-50)\text{MeV}$ بفاصل طاقي $\Delta E = 5\text{MeV}$ حيث قمنا بتثبيت قيم وسطاء الكمون السبيني المداري باعتبارها غير تابعة للطاقة.

2- تم الحصول على قيم التكاملات الحجمية من المرتبة الثانية بالنسبة للجزء التخلي للكمون (السطحي والحجمي) بعد أن تم توصيفها بعلاقة براون-راو وأيضاً وقمنا بتمثيلها بيانياً ومن ثم ناقشنا السلوك الذي تتبعه تلك العزوم.

3- تم إيجاد قيم الكمونات الضوئية التخيلية (السطحية والحجمية) ودراسة تغيراتها بالنسبة للطاقة ومُثلت بيانياً في الشكل (2) وتبين لنا أنها تسلك سلوك مشابه للعزوم التخيلية وهذا يعزى إلى العلاقة التي تربط بينهما $[r^2]_w = qw(E)$.

4- تم دراسة التغيرات لكل من الكمون الحقيقي وكمون هارتي- فوك بالنسبة للطاقة حيث تم توصيف السلوك الذي تتبعه هذه الكمونات بالعلاقين :

$$V = -0.9472E + 201.31$$

$$V_{\text{Hf}} = -0.7849E + 159.86$$

5- قمنا بدراسة تابعة نصف قطر الكمون الحقيقي للطاقة وتم مقارنة السلوك الذي يتبعه مع نصف قطر الكمون الحقيقي المحسوب من التصنيف العالمي لكونيك [13] .

6- تم تحديد قيم مقاطع التفاعل ودرست تابعيتها للطاقة وتبين لنا من الشكل التطابق الجيد بين قيم مقاطع التفاعل التي حصلنا عليها وفق طريقة VMA وتلك المحسوبة وفق تصنيف كونيك [13].

7- تم دراسة تغير المقطع العرضي التفاضلي كتابع للزاوية عند طاقة ثابتة مختارة ضمن المجال الطاقي المدروس .

التوصيات:

إتاحة استخدام طريقة VMA لتشمل مجالات طاقية أعلى للجسيم المقذوف وأيضاً لتشمل نوى أهداف ثقيلة.

المراجع:

[1] Krane, K. S. (1991). Introductory nuclear physics. John Wiley & Sons.

[2] د-أنيس بلال، محاضرات الفيزياء النووية لطلاب السنة الرابعة فيزياء، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة حمص.

[3] Hodgson, P. E. (1990). The unification of the nuclear optical potential. *Contemporary physics*, 31(5), 295-308.

[4] ROMANOVSKY E. A , BELAL. A , MORZENA L .R, 1993 , News. RAS ,Phys . Vol . 57, No . 10 , P. 179.

[5] ROMANOVSKY E. A, BOTROS. S, SBASKIA T. E, 1995, News. RAS Phys. Vol .59, No. 5, P. 117.

[6]ROMANOVSKY E. A, BOTROS. S, BECPALOVA, B.O,1995, News. RAS, Phys. Vol. 59, No. 1, P. 145.

[7]BELAL. A ,2006-Investigating the resultant characteristics of proton scattering on nuclei $50 \leq A \leq 70$ with energy near the columbic barrier ($E = E_B$) using(VMA)model, Journal of Syria- Homs, Vol.28, No.2, p.279-297- Albaath University.

[8]BELAL. A, 2009-Using the Dispersion Optical Model for Analysis of Proton Scattering by Nuclei $Zr^{92,94,96}$ Energy Range close to columbic barrier Journal of AL Baath University –Syria-Homs, No.31.

[9]Al-Mustafa, H., & Belal, A. A Dispersive Optical Model Analysis of the Alpha Particles Scattering by Titanium Element Nucleus and Its Natural Isotopes.

[10]Белал, А., & Саллум, Р. (2019). STUDY OF REACTION SECTIONS FOR THE SYSTEM ($n+ {}^{112}\text{Sn}$) IN THE ENERGY RANGE ($100 \leq 125\text{MeV}$) Using METHOD OF (VMA). *Аллея науки*, 1(9), 19-24.

[11] أوس علي. (2024). دراسة التباينات الطاقية للعزوم من المرتبة الثانية بالنسبة للجزء التخليقي للكمون الضوئي للتفاعل (${}^{56}\text{Fe} + \alpha$) باستخدام طريقة (VMA) سلسلة العلوم الأساسية.. 46(8) ,

[12] PEREY F.G. code SPI-GENOA (unpublished)1976.

[13] koning, A. J., & Rochman, D. (2012). Modern nuclear data evaluation with the TALYS code system. *Nuclear data sheets*, 113(12), 2841-2934

تقييم النشاط المضاد للتأكسد لثلاثة مستخلصات من بذور القبار

الشوكي *Capparis spinosa*

اعداد الطالب : جهاد الجدعان اشراف: أ. د. باسل ابراهيم ، د.أمينة ابراهيم

الملخص

تم في هذا البحث دراسة تأثير ثلاث مزيبات استخلاص (الإيتانول 70%، الميتانول النقي، الإيتانول النقي) على إجمالي الفينولات والفلافونويدات والنشاط المضاد للتأكسد في بذور القبار الشوكي *C. spinosa*، تم استخلاص البذور بالمزيبات السابقة باستعمال الأمواج فوق الصوتية، تم تحديد الفينول الكلي بطريقة Folin-Ciocalteu، ومحتوى الفلافونويدات الكلية بطريقة قياس اللون لكلوريد الألمنيوم، وتم تقييم القدرة المضادة للتأكسد وفق اختبار الـ DPPH و FRAB. أظهرت نتائج الدراسة غنى المستخلصات الثلاث بالمركبات الفعالة حيويًا، أعطى المستخلص الإيتانولي 70% أعلى كفاءة استخلاص $13.08\% \pm 1.06$ ، كما وجد أعلى محتوى من الفينولات والفلافونويدات في المستخلص الإيتانولي 70% بقيم بلغت 194.48 ± 8.21 mg GAE/g و 59.37 ± 0.05 mgQE/g على التوالي، أظهرت المستخلصات الإيتانولية 70% والميتانولية قدرة متقاربة في تثبيط الجذور الحرة DPPH، حيث بلغت قيم الـ IC_{50} لكل منهما 0.39 و 0.55 (mg/ml) على التوالي، كما أظهر المستخلص الإيتانولي 70% كفاءة أفضل في إرجاع أيونات الحديد الثلاثي بقيمة $EC_{50} = 0.32 \pm 0.28$ mg/ml، بالمقابل أبدت المستخلصات الميتانولية والإيتانولية قدرة متقاربة في نشاط مضادات التأكسد وفق اختبار القدرة الإرجاعية FRAB والمعبر عنها بقيم الـ EC_{50} والتي بلغت 0.48 ± 0.41 mg/ml و 0.61 ± 0.11 mg/ml على التوالي، وبالتالي أظهرت البذور إمكانات فعالة مضادة للتأكسد ويمكن أن تكون بديلاً لمضادات التأكسد الصناعية في المنتجات الغذائية والصيدلانية.

الكلمات المفتاحية: بذور *Capparis Spinosa*، الفينولات الكلية، الفلافونويدات، النشاط المضاد للتأكسد، DPPH.

Evaluation of Antioxidant Activity of Three *Capparis spinosa* Seeds Extracts

Abstract

In this study, the effect of three extraction solvents (ethanol 70%, methanol, ethanol) on the total phenols, flavonoids and antioxidant activity of *C. spinosa* seeds was studied. The seeds were extracted with previous solvents using ultrasonic. Total phenol contents were determined by the Folin-Ciocalteu method, total flavonoid contents were estimated by the aluminum chloride using colorimetric method, and the antioxidant capacity was evaluated by the DPPH and FRAB assays. The results of this study, showed that the three extracts were rich in biologically active compounds. The ethanolic 70% extract gave the highest extraction efficiency of $13.08\% \pm 1.06$. In addition, the total contents of phenolic and flavonoids were found in the ethanolic 70% extract with values of 194.48 ± 8.21 mg GAE/g and 59.37 ± 0.05 mg QE/g, respectively. The extracts of ethanolic 70% and pure methanolic showed similar ability to inhibit DPPH free radicals, whereas the IC_{50} values for each of them reached 0.39 and 0.55 (mg/ml), respectively. The ethanolic 70% extract also showed better efficiency in reducing iron (III) ions with a value of $EC_{50} = 0.32 \pm 0.28$ mg/ml. In contrast, the pure methanolic and pure ethanolic extracts showed similar ability in antioxidant activity according to the FRAB reducing ability test, expressed as values of EC_{50} which were 0.48 ± 0.41 mg/ml and 0.61 ± 0.11 mg/ml respectively. Therefore, *C. spinosa* seeds showed effective antioxidant potential and could be used as natural antioxidant and as alternative to synthetic antioxidants in food and pharmaceutical products.

Keywords: *Capparis Spinosa* seeds, total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, DPPH.

1. المقدمة:

في الوقت الحالي تستخدم العديد من مضادات التأكسد الصناعية تجارياً وتشمل إلى حد كبير بوتيل هيدروكسي التولوين BHT وبوتيل هيدروكسي الأنيسول BHA [1]. في السنوات الأخيرة كثرت الشكوك حول مدى سلامة هذه المضادات الحيوية بسبب آثارها السلبية على صحة الإنسان، لذلك تم حظر استخدامها في كل من اليابان وكندا والدول الأوروبية ويتم التعامل معها بشكل صارم من قبل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية [2]. كان لا بد من البحث عن بديل أكثر أماناً منها فتوجهت الأنظار نحو استخدام المستخلصات النباتية كمضادات تأكسد طبيعية في الأغذية ومستحضرات التجميل، تعد النباتات مصدر غني بمضادات الأكسدة كالفينولات والفلافونويدات وغيرها من المواد الكيميائية النباتية، تتحكم مضادات الأكسدة هذه في تقليل الضرر التأكسدي في الأطعمة من خلال تثبيط الجذور الحرة والتقليل من أنواع الأوكسجين الفعال ROS وبالتالي الحفاظ على الجودة الغذائية [3].

القَبَار الشُّوكِي *Capparis spinosa*

القبار الشوكي *C. spinosa* هي الاسم الشائع لجنس *Capparis* من عائلة *Capparidaceae* يحتوي هذا الجنس على أكثر من 250 نوعاً مزهراً موزعة في عوائل مختلفة من المناطق شبه الاستوائية إلى المناطق الاستوائية. القبار الشوكي هو شجيرة معمرة ومن أهم النباتات التي تحتوي على نسبة عالية من مضادات التأكسد، حظي باهتمام متزايد مؤخراً بسبب قيمته الطبية والغذائية وخصائصه الحسية [4]. تتمتع البذور بقيمة غذائية عالية، حيث تحتوي على 26% ألياف و 19 - 22% بروتين وهي بمثابة مصدر مهم للزيت [5]. يمكن استهلاك بذور النبات كمخلل أو بهار، كما تعد مصادر ممتازة لمضادات التأكسد مع محتواها العالي من المركبات الفينولية والفلافونويدية مثل حمض الغاليك وحمض الفيروليك والنارينجين والمورين والجينيستين والهيسبيريتين وحمض الأسكوربيك وبروبيل غالات والكومارين والشالكون، فهي قادرة على تفكيك الجذور الحرة ويمكن أن تتشكل مجمعات تحتوي على أيونات معدنية محفزة تجعلها غير نشطة [6].

2. هدف البحث:

يتمثل هدف البحث في دراسة تأثير ثلاث مزيبات استخلاص (الإيتانول 70%، الميتانول النقي، الإيتانول النقي) على:

- كفاءة الاستخلاص
- المحتوى الكلي للفينولات والفلافونويدات
- النشاط المضاد للتأكسد في بذور القبار الشوكي *C. spinosa* وفق اختباري الـ DPPH و FRAB.

3. المواد والأدوات الكيميائية المستخدمة:

1.3. الأدوات والأجهزة المستخدمة:

- ✓ جهاز الأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-VIS) Huma Reader HS من شركة Human متصل بحاسب آلي مزود ببرنامج Optizen View.
- ✓ حمام مائي يعمل بالأموح فوق صوتية نموذج Ultrasonic Cleaner PS-60A
- ✓ ميزان رقمي ED224S بدقة 0.0001gr من شركة Sartorius
- ✓ فرن كهربائي (مجفف) من شركة JSR، مرمدة، ماصات ميكرونية من شركة Biosigma، سخانات كهربائية، ومحركات مغناطيسية

2.3. المواد الكيميائية المستخدمة:

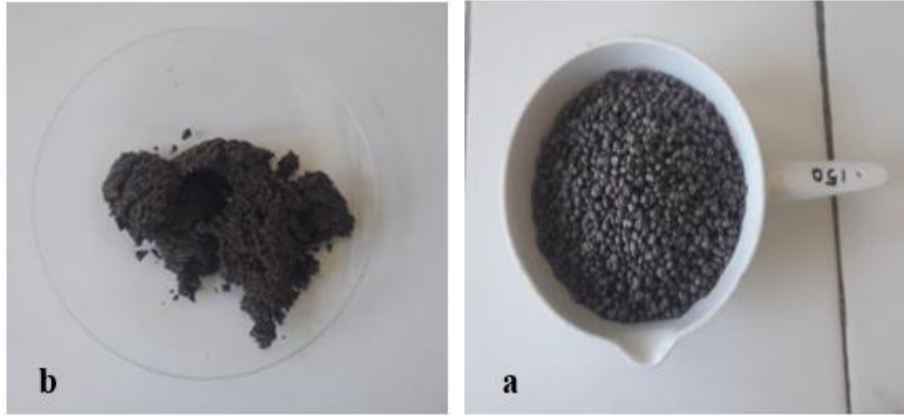
- ميتانول بنقاوة 99.7% (HPLC) من شركة sham lab، إيتانول بنقاوة 99.5% من شركة Panreac، حمض الغاليك $C_7H_6O_5$ بنقاوة 97.5-102.5% من شركة Sigma-Aldrich
- كاشف فولين سيالكالتو (Folin-ciocalteu) من شركة Sigma-Aldrich، الكيرسيتين $\geq 98\%$ (HPLC) من شركة Sigma-Aldrich، كاشف DPPH نقاوة تحليلية من شركة Sigma-Aldrich
- حمض الأسكوربيك بنقاوة 99.7% من شركة Riedel-de Haën، حمض الحماض $\geq 99.0\%$ من شركة Sigma-Aldrich، فري سيانيد البوتاسيوم بنقاوة 99.0% من شركة Riedel-de Haën
- كربونات الصوديوم اللامائية Na_2CO_3 من شركة Qualikems، كلوريد الألمنيوم $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ بنقاوة 99.0% من شركة Riedel-de Haen، هيدروكسيد الصوديوم 97% بنقاوة 97% من شركة Tekkim، نترتيت الصوديوم $NaNO_2$ بنقاوة 99.0-100.5% من شركة Merck.

4. طرائق البحث

1.4. المواد النباتية

قُطعت الثمار من شجيرات *C. spinosa* في ريف دمشق (ضاحية قدسيا) وذلك خلال الفترة ما بين آذار وأيلول لعام 2024. عُلِيت البذور من الثمار، قُطعت البذور يدوياً حيث أُزيلت عنها الشوائب والبذور التالفة وصغيرة الحجم

وغير الناضجة، ثم جُففت البذور السليمة في الهواء عند درجة حرارة الغرفة 25°C ، طُحنت بعدها يدوياً باستخدام جفنة الشكل (1)، وحُفظت في عبوات عاتمة عند درجة حرارة 4°C للاستخدام لاحقاً [2].



الشكل (1) : بذور القبار الشوكي (a) ، مسحوق البذور (b)

2.4. الاستخلاص

1.2.4. تحضير المستخلص

أُجري الاستخلاص باستخدام طريقة معدلة قليلاً موصوفة بالمرجع [6]. تم طحن 1g من بذور *C. spinosa* واستخلاصها باستخدام ثلاثة مذيبات (الإيثانول 70%، الميثانول النقي، الإيثانول النقي) عن طريق النقع بمساعدة الأمواج فوق الصوتية، حيث أُضيف 1g من المسحوق الجاف لبذور *C. spinosa* إلى 15ml من كل مذيب بشكل منفصل ووضعت في حمام مائي يعمل بالأمواج فوق الصوتية عند درجة حرارة 37°C مدة ساعة، بعد ذلك رُشح الناتج باستعمال ورق الترشيح نوع Whatman NO.1 وحُفظ الجزء الطافي عند درجة حرارة 4°C ، في حين أُضيف للمسحوق النباتي الباقي 15ml من المذيب الموافق لإتمام عملية الاستخلاص مرة ثانية وذلك بوضعها في حمام مائي يعمل بالأمواج فوق الصوتية عند درجة 37°C مدة ساعة، جُمعت الرشاحتين معاً وأُحتفظ بهما عند درجة 4°C لحين الاستخدام.

2.2.4. مردود الاستخلاص

عُين مردود المستخلصات بأخذ 3ml من كل مستخلص ناتج من بذور *C. spinosa* على حدى انطلاقاً من تركيز (1g/30ml)، وتجفيفها بالمجفف الكهربائي عند الدرجة ($40-60^{\circ}\text{C}$) حتى ثبات الوزن [7]، حُسب المردود من العلاقة (1)، كنسبة مئوية:

$$Y\% = \frac{W_1 \times 100}{W_2} \quad (1)$$

حيث:

Y%: مردود المستخلص الجاف.

W₁: كتلة المستخلص الجاف بعد تبخير المذيب (g).

W₂: كتلة عينة مسحوق بذور الـ *C. spinosa* الجافة المأخوذة للاستخلاص (g).

كُررَت التجربة ثلاث مرات، وسُجِّل مردود الاستخلاص على النحو التالي: متوسط قيمة مردود كل مستخلص \pm الانحراف المعياري.

5. الكشف الكيفي عن بعض المركبات الفعالة حيويًا في مستخلصات بذور *C. spinosa*

أجري الفحص الكيميائي النباتي للتعرف على المكونات الكيميائية النباتية في مستخلصات بذور *C. spinosa* بفضل الطرق التي أبلغ عنها Trease and Evans (1989) للكشف عن المكونات الفعالة حيويًا مثل القلويدات والتانينات والفينولات والفلافونويدات والأنثراكينونات والكومارينات والجليكوزيدات والصابونوزيدات، على أساس الفحص البصري إما لتغير اللون أو تكوين الراسب نتيجة إضافة كواشف محددة على النحو التالي [8]:

1.5. الكشف عن المركبات الفينولية

1. اختبار كلوريد الحديد: 2ml من المستخلص النباتي عند معالجته بـ 1-2 قطرة من FeCl₃ بتركيز 5%، ظهور اللون الأخضر الداكن دلالة على وجود الفينولات.

2. اختبار خلات الرصاص: وُضِع 0.5ml من المستخلص النباتي في أنبوب اختبار، ثم أُضيف قطرات من خلات الرصاص 5%، يشير وجود الراسب الأبيض إلى وجود الفينول.

3. اختبار الفولين سيالكالتو: 0.5 – 1ml من المستخلص عند معالجته مع كاشف الفولين سيالكالتو، يُلاحظ ظهور اللون الأخضر المزرق دلالة على وجود الفينولات.

2.5. الكشف عن القلويدات

وُضِع 3ml من كل مستخلص من بذور *C. spinosa* في أنبوب اختبار، وأُضيف له 1ml من HCL بتركيز 1%، سُخِن الخليط مدة 20 دقيقة، بعد ذلك بُرد وتم وترشيحه، ثم أُضيف قطرتين من كاشف ماير، يمكن أن يشير وجود القلويدات إلى تكوين راسب كريمي.

3.5. الكشف عن التانينات

أُضيف 1ml من KOH بتركيز 10% إلى 1ml من كل مستخلص من بذور *C. spinosa*، يدل تكوين راسب أبيض قدر على وجود التانينات.

4.5. الكشف عن الصابونوزيدات

2ml من كل مستخلص بعد رجها بقوة لمدة دقيقتين في أنبوب اختبار، لم يلاحظ أي رغوة، تم إجراء اختبار الرغوة من خلال 3ml من كل مستخلص مع 5 قطرات من زيت الزيتون، ثم الرج بشدة، يشير تكوين المستحلب المستقر إلى وجود الصابونين.

5.5. الكشف عن الفلافونويدات

أُضيف 1ml من NaOH بتركيز 10% إلى 3ml من كل مستخلص، ظهر اللون الأصفر مؤشر على وجود مركبات الفلافونويدات.

6.5. الكشف عن الستيروئيدات

اختبار سالكوفسكي: أُضيف 5 قطرات من حمض الكبريت المركز 98% إلى 1ml من كل مستخلص في أنبوب اختبار، يشير ظهور اللون الأحمر إلى وجود الستيروئيدات.

7.5. الكشف عن التربينات

أُضيفت عدة قطرات من الكلورفورم إلى 1ml من كل مستخلص في أنبوب اختبار، بعد المزج بشكل جيد، أُضيف بضع قطرات من حمض الكبريت المركز 98% على شكل إسالة على جدار الأنبوب، فبدل ظهور حلقة بلون بني محمر على السطح الفاصل بين الطبقتين على وجود التربينات.

8.5. الكشف عن الغليكوزيدات

اختبار كيلر كيلاني: عُولج 1ml من مستخلص النبات مع 1ml من حمض الخل الثلجي، وقطرتين من $FeCl_3$ بتركيز 2%، بعد ذلك صُبَّ الخليط بالكامل في أنبوب اختبار يحتوي على 1ml من حمض الكبريت المركز 98%، يُلاحظ رؤية طبقتين، العليا بنية حمراء والسفلى زرقاء خضراء، مما يدل على وجود الغليكوزيدات.

9.5. الكشف عن الأنتراكينونات

وُضِعَ 0.5g من مسحوق البذور الجاف في أنبوب اختبار وأُضيفَ لها 20ml من حمض كلور الماء 10%، سُخِّنَ الخليط بلطف مدة نصف ساعة، بعد ذلك رُشِحَ المستخلص وُجِدَ الراشح، ثم أُضيفَ 8ml من الإيتر البترولي وقطرتين من محلول الأمونيا 10%، يُلاحظ ظهور اللون الأحمر الوردي دليل على وجود الأنتراكينونات.

10.5. الكشف عن الكومارينات

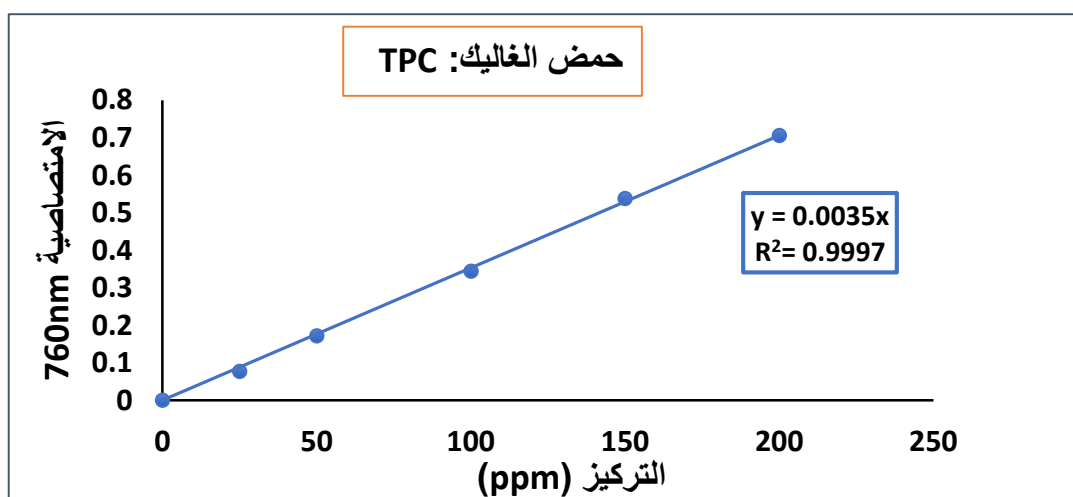
أُضيف 10ml من الماء المقطر إلى 1g من مسحوق البذور الجاف، سُخِّنَ الخليط بلطف مدة نصف ساعة، بعد ذلك رُشِحَ المستخلص الناتج وُجِدَ الراشح، أُخِذَ 200 ميكرو لتر منه وأُضيفَ له 200 ميكرو لتر من هيدروكسيد الصوديوم 10%، ثم الانتظار مدة 2 - 5 دقائق، وبعد ذلك أُضيفَ للمكونات بضع قطرات من حمض الكبريت المركز 98%، يُلاحظ ظهور اللون الوردي المحمر دليل على وجود الكومارينات.

6. تعيين المحتوى الكلي لمتعددات الفينول كميًا TPC (Total phenolic content)

تم تحديد محتوى الفينول الكلي TPC لمستخلصات بذور *C. spinosa* وفقاً لطريقة قياس اللون Folin–Ciocalteu، كانت الطريقة المستخدمة مماثلة لتلك التي أجراها الباحث (2015) Nizar Tlili. [6].

وفق الخطوات:

- خلط 2.65ml من الماء المقطر إلى 0.25ml من كل مستخلص (بتركيز 1g/30ml) على حدى.
- إضافة 100µl من كاشف الفولين، وتحضين الخليط في الظلام مدة 6 دقائق عند درجة حرارة الغرفة.
- إضافة 2ml من محلول كربونات الصوديوم اللامائية 20%.
- مزج الإضافات جيداً حتى التجانس.
- قياس امتصاصية اللون الأزرق المتشكل عند 760nm.



الشكل (2): المنحني المعياري من حمض الغاليك (1000ppm) لتعيين المحتوى الكلي للفينولات 760nm

ملاحظة: حسب إجمالي محتوى الفينول الكلي باستخدام المنحني القياسي لحمض الغاليك (مجال التركيز: 0 - 200ppm) الشكل (2)، وعُبر عن النتائج على أنها: (متوسط محتوى الفينولات \pm الانحراف المعياري).

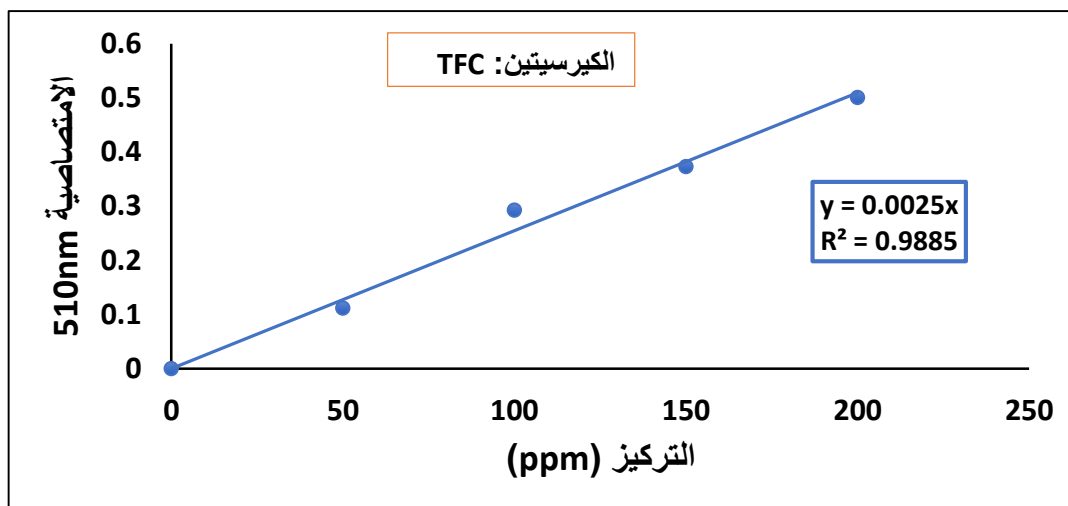
7. تعيين المحتوى الكلي للفلافونويدات TFC (Total flavonoids content)

تم تحديد إجمالي محتوى الفلافونويد TFC لمستخلصات بذور *C. spinosa* وفقاً لطريقة قياس اللون لكلوريد الألمنيوم [9].

وفق الخطوات:

- خلط 150µl من نترت الصوديوم 5% مع 150µl من كل مستخلص (1g/30ml).
- ترك العينات في الظلام بعد المزج مدة 5 دقائق، ومن ثم إضافة 150µl من كلوريد الألمنيوم 10%.

- إضافة 1ml من هيدروكسيد الصوديوم 1M و 300 ميكرو لتر من الماء المقطر.
- مزج الإضافات جيداً، وقياس امتصاصية اللون الأصفر المتشكل عند الـ 510nm بعد 15 دقيقة من الحضانة في درجة حرارة الغرفة.

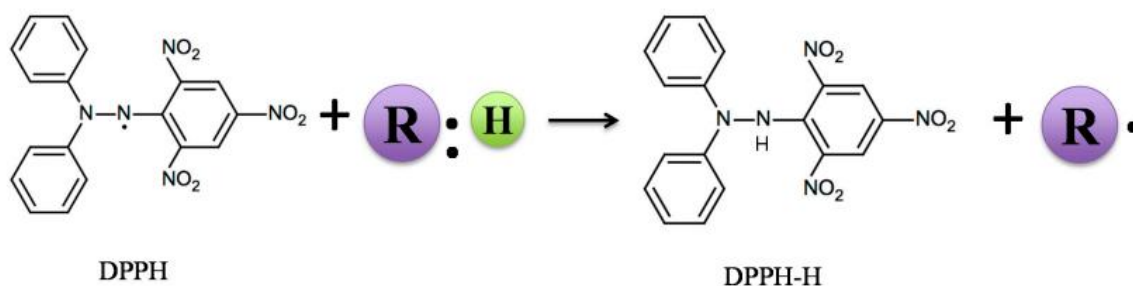


الشكل (3): المنحني المعياري من الكيرسيتين (1000ppm) لتعيين محتوى الفلافونويدات 510nm

ملاحظة: حُسب إجمالي محتوى الفلافونويد الكلي باستخدام المنحني القياسي للكيرسيتين (مجال التركيز: 0 - 200ppm) الشكل (2)، وعُبر عن النتائج على أنها: (متوسط محتوى الفلافونويدات \pm الانحراف المعياري).

8. تعيين القدرة على تثبيط الجذور الحرة DPPH

يعتمد مبدأ الاختبار على التغير اللوني لجذر الـ DPPH، حيث يتغير لونه من البنفسجي الداكن إلى اللون الأصفر الفاتح عند ضمه الهيدروجين من مضاد التأكسد الشكل (4)، ويعد تناقص قيم الامتصاصية للمزيج التفاعلي عند 515nm مؤشراً على تزايد كفاءة العينة في تثبيط الجذور الحرة [10].



الشكل (4): آلية تفاعل اختبار الـ DPPH لتعيين القدرة على تثبيط جذر DPPH [10]

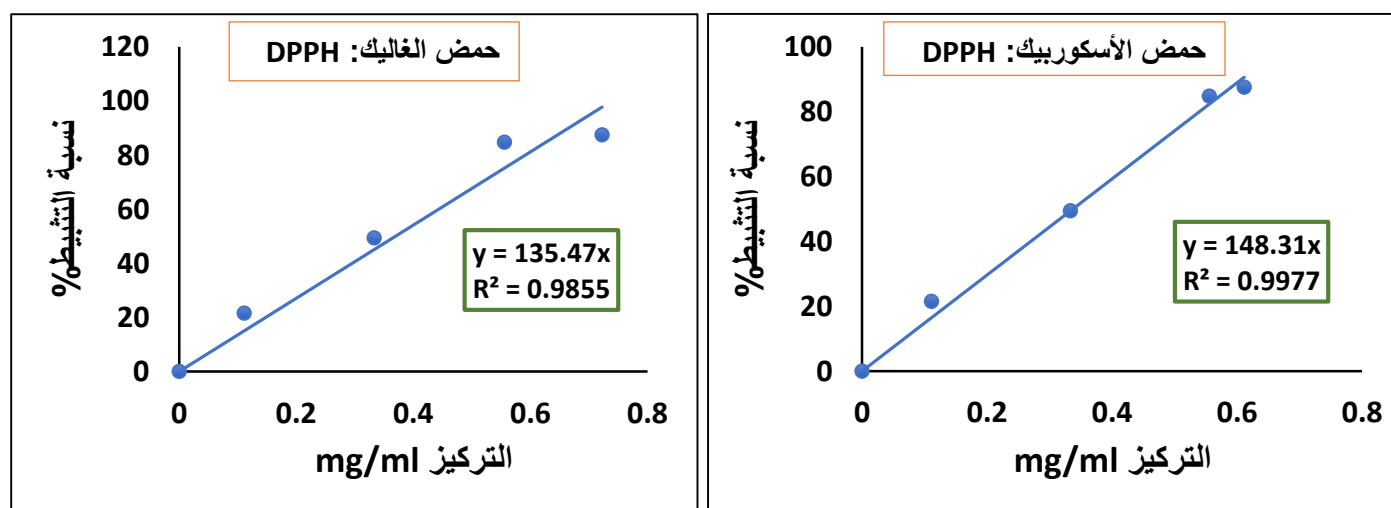
تم تحديد نشاط تثبيط الجذور الحرة DPPH[•] لكل من مستخلصات بذور *C. spinosa*، وفق الطريقة التي ذكرتها الباحثة (ثناء حرامي، أمينة إبراهيم، 2021) [11] مع بعض التعديلات.

خطوات العمل:

- تحضير محلول الـ DPPH المحضر طازجاً بالإيثانول بتركيز 45µg/ml.
- خلط 1ml من محلول DPPH مع 50µl من تراكيز مختلفة من كل مستخلص على حدا ضمن المجال [0 – 0.72 mg/ml].
- رجّ الخليط بشكل جيد، وحُفظ في مكان مظلم مدة 30 دقيقة عند درجة حرارة الغرفة.
- قياس الانخفاض في الامتصاص عند 517nm.
- حُسبت قدرة المستخلصات على تثبيط جذر الـ DPPH من العلاقة (2):

$$I\% = \frac{(A_0 - A_1) \times 100}{A_0} \quad (2)$$

حيث: DPPH% نسبة التثبيط المئوية، A_0 امتصاصية العينة الشاهدة، A_1 امتصاصية العينة المدروسة. تم التعبير عن القدرة على تثبيط الجذور الحرة للمستخلصات بقيمة IC_{50} والتي تعرف بأنها التركيز اللازم لتثبيط 50% من الجذور الحرة، تم التعبير عن النتائج بقيمة IC_{50} . حُسبت النتائج على النحو التالي (متوسط قيمة $IC_{50} \pm$ الانحراف المعياري).



الشكل (5): السلاسل المعيارية لكل من حمض الغاليك وحمض الأسكوربيك في اختبار الـ DPPH

ملاحظة: استُخدم حمض الغاليك والأسكوربيك للمقارنة مع قدرة المستخلصات على تثبيط الجذور الحرة DPPH، تم تحضير منحنى المعايرة في الماء النقي انطلاقاً من محلول أولي تركيزه 200ppm بالطريقة السابقة نفسها، وبتراكيز ضمن المجال [0 – 0.65 mg/ml] الشكل (5).

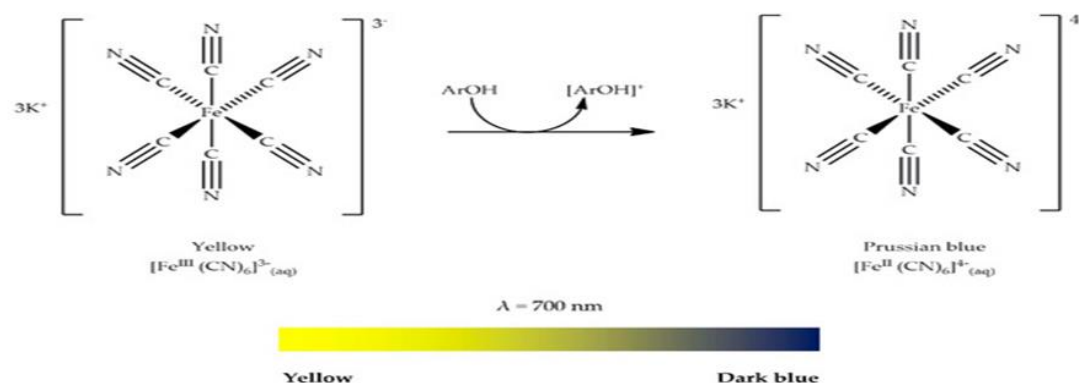
9. تعيين القدرة الإرجاعية (اختبار الـ FRAB)

تعتمد طريقة الـ FRAB على قدرة مضادات التأكسد أو غيرها من المركبات المرجعة الموجودة في العينة على التفاعل مع الحديد الثلاثي في معقد فري سيانيد البوتاسيوم ذي اللون الأصفر وإرجاعه إلى فرو سيانيد البوتاسيوم الذي يتفاعل مع كلور الحديد المضاف ليعطي اللون الأزرق، وبعد تزايد قيم الامتصاصية للمزيج التفاعلي عند 700nm دليل على كفاءة العينة في قدرتها على الإرجاع [12].

Chemical reaction:



Mechanism of reaction:



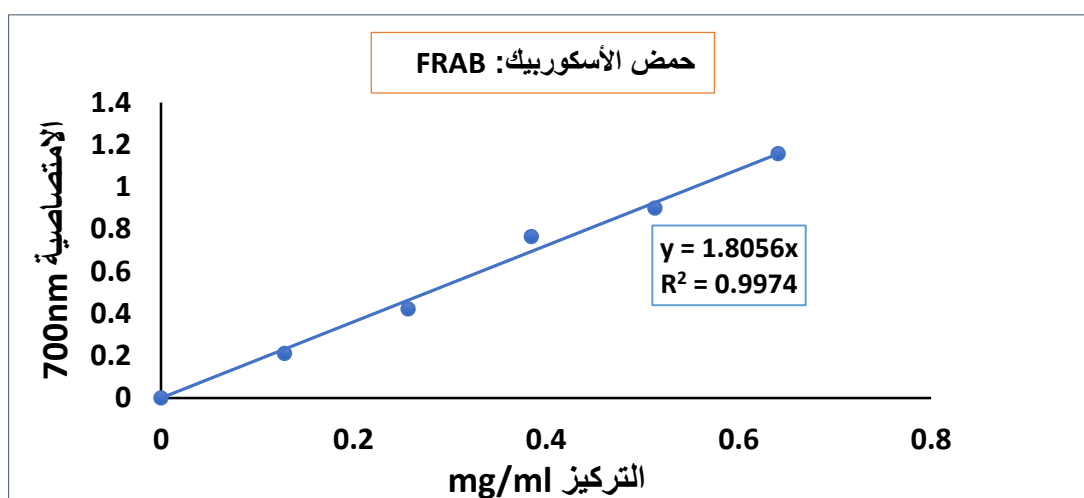
الشكل (6): تفاعل قدرة إرجاع متعددات الفينول لأيون الحديد الثلاثي في اختبار (FRAB) [12]

حُدثت القدرة الإرجاعية لمستخلصات بذور *C. spinosa* وفق الطريقة التي ذكرها Dissanayaka et al., 2018 [13]، مع بعض التعديلات.

وفق الخطوات:

- خلط 250µl من كل مستخلص مع 250µl من محلول موقى فوسفاتي (pH= 6.6)، و 250µl من محلول فري سيانيد البوتاسيوم 1%.
- حضن العينات عند 50 درجة مئوية مدة 20 دقيقة، ثم أُضيف 250µl من محلول ثلاثي كلورو حمض الخل 10% (حجم/حجم)، مُزجت حتى التجانس.

- أخذ 200µl من كل عينة وأضيف إليها 500µl من الماء المقطر و 100µl من محلول كلوريد الحديد الثلاثي 0.1% (وزن/ حجم) تم تحضيره طازجاً.
 - ترك العينات في الظلام مدة 15 دقيقة. وقياس امتصاصية العينات عند طول موجة 700nm.
- تم التعبير عن قدرة المستخلصات على إرجاع أيونات الحديد الثلاثي بقيمة EC_{50} والتي تعرف بأنها تركيز العينة التي توافق الامتصاصية 0.5. حُسبت النتائج على النحو التالي (متوسط قيمة $EC_{50} \pm$ الانحراف المعياري).



الشكل (7): السلسلة المعيارية لحمض الأسكوربيك في اختبار FRAB

ملاحظة: استُخدم حمض الأسكوربيك للمقارنة مع قدرة المستخلصات على إرجاع أيونات الحديد الثلاثي، تم تحضير منحنى المعايرة في الماء النقي انطلاقاً من محلول أولي تركيزه 200ppm بالطريقة السابقة نفسها، وبتراكيز ضمن المجال [0 – 0.65 mg/ml] الشكل (7).

10. الدراسة الإحصائية

أجري التحليل الإحصائي باستخدام One-way ANOVA مع اختبار Tukey لتحديد الفروقات بين المجموعات، كررت جميع التجارب أربع مرات (n=4) باستثناء تجارب الفعالية المضادة للتأكسد DPPH و FRAB (n=3) وبمستوى ثقة 95% ($\alpha=0.05$)، وتم التعبير عن النتائج بالشكل $mean \pm SD$ (حيث: mean المتوسط الحسابي و SD الانحراف المعياري).

11. النتائج والمناقشة

1.11. مردود الاستخلاص

أعطت الدراسة الحالية النتائج الموضحة في الجدول (1) والذي يبين النسبة المئوية لمردود الاستخلاص من بذور *C. spinosa* باستخدام ثلاثة مذيبات (الإيثانول 70%، الميثانول النقي، الإيثانول النقي)، أظهر المستخلص

الإيتانولي 70% أعلى كفاءة استخلاص $13.08\% \pm 1.06^a$ ، يليه المستخلص الإيتانولي $11.6\% \pm 0.41^b$ ، لم يلاحظ أي اختلافات كبيرة وفقاً لاختبار Tukey، من خلال القيم المسجلة، يتضح أن هناك علاقة طردية بين قطبية المذيب وكفاءة الاستخلاص، حيث إن طبيعة المكونات الكيميائية وانتقائية هذه المكونات للاستخلاص بمذيبات معينة تؤثر على كفاءة الاستخلاص [14]. بشكل عام المستخلص الإيتانولي 70% أكثر قدرة على إذابة المركبات القطبية وغير القطبية، كما أنه يملك توتر سطحي أقل، مما يسمح له بالتغلغل بسهولة أكبر واستخلاص المركبات الفعالة بشكل أكبر. بينما المستخلص الإيتانولي كونه أقل قطبية من الإيتانول 70% وبالتالي أقل فعالية في استخلاص المركبات القطبية مثل الأحماض والسكريات، مع ذلك، يبقى فعالاً لاستخلاص المركبات شبه القطبية مثل بعض الفلافونويدات بسبب قدرته على إذابة الدهون والمركبات متوسطة القطبية. من ناحية أخرى، أظهر المستخلص الميثانولي أقل مردود استخلاص لكونه من المذيبات العالية القطبية وبالتالي يملك فعالية في استخلاص المركبات القطبية وأقل فعالية في استخلاص المركبات المتوسطة والأقل قطبية مما يحد من مردوده [15].

تتفق نتائجنا مع نتائج الدراسات السابقة بأن مذيبات مثل الإيتانول 70% والإيتانول النقي تعطي عائد استخلاص أعلى [16]، بالمقابل أبدت الدراسة الحالية كفاءة استخلاص أعلى مقارنة مع الدراسة المقدمة من قبل الباحث Khant وزملاؤه 2021 على أوراق *C. brevisoina* عن طريق الاستخلاص البارد بالنقع والتي بلغت 1.27% و 11.1% باستعمال ثنائي إيثيل الإيتر والميثانول النقي كمذيبات استخلاص على التوالي [7]، يعود هذا الاختلاف لطبيعة المكونات الكيميائية في المادة النباتية وطريقة الاستخلاص، بالإضافة إلى نوع المذيب وتركيزه دور مهم في عملية الاستخلاص [17].

الجدول (1): مردود المستخلصات بذور *C. spinosa*

بذور القبار الشوكي <i>C. spinosa</i>	
مردود الاستخلاص	مذيب الاستخلاص
$13.08^a \pm 1.06$	الإيتانول 70%
$11.6^b \pm 0.41$	الإيتانول النقي
$9.38^c \pm 0.63$	الميثانول النقي

ملاحظة: جُفّف 3ml من كل مستخلص (تركيز 1g/30ml) عند درجة حرارة 105°C.

2.11. الكشف الكيفي عن المركبات الفعالة حيويًا في مستخلصات بذور القبار الشوكي *C. spinosa*

أُجريَ الفحص الكيميائي النباتي على مستخلصات بذور *C. spinosa* الناتجة للتأكد من وجود المركبات الفعالة حيويًا، نُظمتُ النتائج في الجدول (2) حيث تدل إشارة (+++) على وجود كمية مرتفعة جداً، و (++) كمية مرتفعة، (+) كمية أقل.

الجدول (2): الكشف الكيفي عن بعض المركبات الفعالة حيويًا في مستخلصات بذور القبار الشوكي *C. spinosa*

المركبات الفعالة	الكاشف المستخدم	المستخلص		
		الإيتانولي %	الميتانولي %	الإيتانولي 70%
الفينولات	كلوريد الحديد	+	++	++
	خلات الرصاص	+	++	++
	الفولين سياكالتو	+	++	++
الفلافونويدات	الكاشف القلوي	+	++	+++
التربينات	سالكوفسكي	+	+	++
الستيروئيدات	سالكوفسكي	+	+	+
القلويدات	ماير	+	+	+
الصابونوزيدات	الرغوة	+	+	+
الجليكوزيدات	كيلر كيلاني	+	+	++
الأنتراكينونات		+	+	+
التانينات		+	+	+
الكومارينات		+	+	+

أظهرت نتائج دراستنا غنى مستخلصات البذور بالفينولات والفلافونويدات والتربينات والقلويدات والجليكوزيدات والأنتراكينونات والتانينات، مع وضوح مستويات أعلى للفينولات لكل من المستخلص الإيتانولي 70% والميتانول النقي مقارنةً مع مستخلص الإيتانول النقي، كما أظهر المستخلص الإيتانولي 70% كميات أعلى من الفلافونويدات الكلية مقارنةً مع بقية المستخلصات.

فُورنت نتائج الكشف الكيفي في دراستنا مع نتائج الأبحاث التي أجريت على أجزاء مختلفة من نبات القبار الشوكي، حيث تبين توافق وجود المكونات الفعالة حيويًا مع نتائج الدراسات التي أجريت في الهند والعراق على أوراق *Capparis brevisoina* و ثمار *Capparis spinosa* على التوالي [2, 7].

3.11. تعيين المحتوى الكلي لمتعددات الفينول كميًا (Total phenolic content)

عين محتوى متعددات الفينول لمستخلصات بذور *C. spinosa* المحضرة، وأدرجت النتائج في الجدول (3)، بينت النتائج تفوق واضح للمستخلص الإيثانولي 70% في كمية الفينولات الكلية يليه مستخلص الميثانول النقي والإيثانول النقي على التوالي، سبب ارتفاع المحتوى الفينولي في مستخلصي الإيثانول 70% والميثانول النقي، يعود إلى القطبية، حيث أن الميثانول (CH_3OH) والإيثانول ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) من المذيبات القطبية بسبب مجموعة الهيدروكسيل (OH^-)، مما يجعلهما أكثر فعالية في استخلاص المركبات الفينولية ذات القطبية المتوسطة إلى العالية، عند إضافة الماء إلى الإيثانول (الإيثانول 70%)، تزداد قطبية المذيب، مما يُحسن ذوبانية الفينولات القطبية مثل حمض الغاليك والتربينات، كما أنه لا يمكن الاعتماد على مذيب أحادي المكون لاستخلاص جميع المركبات الكيميائية النباتية [16]، لذلك اعتمدت العديد من الدراسات على استخدام المذيبات ثنائية المكون ذات القطبية المناسبة والتي تملك فعالية أعلى في استخلاص المركبات الفينولية من المذيبات الأقل قطبية أو العالية القطبية، مما يزيد من استخلاص المركبات الفينولية المُحتجزة داخل الخلايا النباتية [14].

الجدول (3): محتوى الفينولات في مستخلصات بذور *C. spinosa*

بذور القبار الشوكي <i>C. spinosa</i>	
كمية الفينولات mgGAE/g	مذيب الاستخلاص
$194.48^a \pm 8.21$	الإيثانول 70%
$175.58^b \pm 6.17$	الميثانول النقي
$114.3^c \pm 2.45$	الإيثانول النقي

تدل الحروف a و b و c على وجود فروق معنوية، ضمن العمود الواحد، بين قيم كمية الفينولات الكلية عند تغير مذيب الاستخلاص وذلك حسب اختبار Tukey في برنامج SPSS وبمستوى ثقة $P < 0.05$. عبر عن النتائج $\text{Mean} \pm \text{SD}$ عدد المكررات $n=4$.

تبين وجود محتوى من الفينولات أعلى بكثير من نتائج الدراسة التي حصل عليها Tlili et al., 2015، حيث تم تقدير محتوى الفينولات الكلية في بذور *C. spinosa* من عدة مواقع في تونس والمستخلصة بطريقة النقع مدة ليلة كاملة عند درجة حرارة 30°C وباستعمال الميثانول النقي كمذيب للاستخلاص، والتي تراوحت بين 1.31 – 8.14 mgGAE/g [6]، حيث تأثر المحتوى الفينولي بمنشأ البذور والاختلاف في أصناف البذور ومناطق جمعها والظروف البيئية والمناخ [18].

4.11. تعيين المحتوى الكلي للفلافونويدات (Total flavonoids content)

عُيِّن محتوى الفلافونويدات الكلي في مستخلصات بذور *C. spinosa* المحضرة، أدرجت النتائج في الجدول (4)، أوضحت النتائج تفوق واضح في محتوى الفلافونويدات الكلية للمستخلص الإيثانولي 70% يليه المستخلص

الميتانولي ، بينما أعطى المستخلص الإيثانولي أقل محتوى من الفلافونويدات الكلية. وبعد إجراء الدراسة الإحصائية باستخدام اختبار ANOVA لوحظ وجود فروق معنوية ($P < 0.05$) في محتوى الفلافونويدات في المستخلصات المدروسة.

يمكن تفسير المحتوى الأقل من الفلافونويدات الكلية في المستخلص الإيثانولي كونه من أقل المذيبات المستخدمة قطبيةً فهو يملك قدرة على استخلاص الفلافونويدات المتوسطة أو شبه القطبية، وبشكل آخر يمكن القول إلى أن معظم الفلافونويدات في مستخلصات البذور قطبية بطبيعتها وهذا ما يفسر أيضاً الارتفاع الملحوظ في قيمة الفلافونويدات في مستخلصات الإيثانول 70% والميتانول النقي [19, 20].

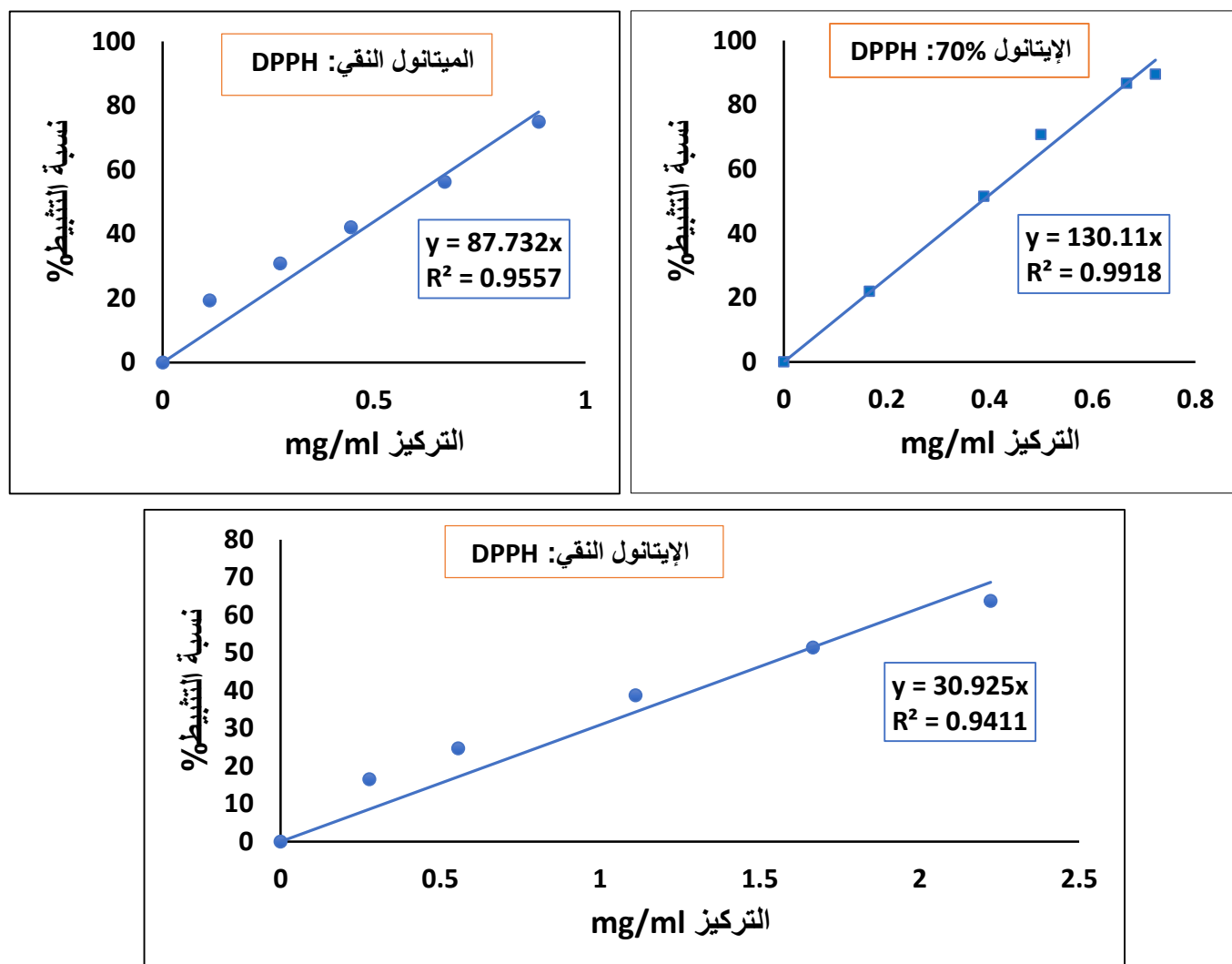
الجدول (4): نتائج محتوى الفلافونويدات في مستخلصات بذور *C. spinosa*

بذور القبار الشوكي <i>C. spinosa</i>	
كمية الفلافونويدات mgQE/g	مذيب الاستخلاص
$59.37^a \pm 0.05$	الإيثانول 70%
$52.76^b \pm 0.82$	الميتانول النقي
$32.54^c \pm 0.15$	الإيثانول النقي

وبالمقارنة مع المرجعيات، كانت نتائجنا أعلى من محتوى الفلافونويدات المسجلة من قبل الباحث Lekhmici [21] في دراسته [21] على عدة أجزاء من نبات *C. spinosa*، حيث تراوح محتوى الفلافونويدات بين 1.1 – 13.7 mg QE/g والتي بلغت للبذور 2.4 mg QE/g عن طريق الاستخلاص بالماء المقطر مع التسخين مدة 15 دقيقة، مع تقليب المستخلص طوال الليل. يعزى الاختلاف الحاصل إلى الاختلاف بطريقة الاستخلاص وطبيعة الفلافونويدات في مستخلصات البذور، بالإضافة إلى قطبية المذيب المستخدم وتركيزه، حيث يؤثر استقطاب المذيب للمركبات الموجودة في المادة النباتية بشكل أساسي على كفاءة وفعالية استخلاص الفلافونويدات [14].

5.11. تعيين القدرة على تثبيط الجذور الحرة DPPH

دُرست قدرة المستخلصات المحضرة من بذور *C. spinosa* على تثبيط الجذور الحرة وفق اختبار الـ DPPH وكذلك لكل من حمض الأسكوربيك وحمض الغاليك كمركبات مرجعية للمقارنة، عُرِ عن النتائج من خلال قيم IC_{50} المحسوبة من معادلة الانحدار الخطي للمنحني البياني الذي تم الحصول عليه عن طريق رسم نسبة التثبيط مقابل التركيز والمعبّر عنها بـ mg/ml الشكل (8).



الشكل (8): قدرة المستخلصات المدروسة لبذور *C. spinosa* على تثبيط الجذور الحرة DPPH. أدرجت فعالية مضادات التأكسد على تثبيط الجذور الحرة DPPH في الجدول (6)، أبدت المستخلصات الإيثانولية 70%، والميثانولية، قدرة أعلى في تثبيط الجذور الحرة DPPH، حيث بلغت قيم الـ IC_{50} (0.39 و 0.55 mg/ml) على الترتيب، يمكن تفسير القدرة المضادة للتأكسد على تثبيط الجذور الحرة DPPH وذلك بوجود كميات ملحوظة من الفينولات الكلية، بينما أظهر المستخلص الإيثانولي النقي نشاط أقل في القدرة على تثبيط جذر الـ DPPH وذلك بسبب المحتوى المنخفض من الفينولات الكلية. وبالتالي يُعزى ارتفاع القدرة على تثبيط جذر الـ DPPH إلى وفرة الفينولات في المستخلصات المدروسة. وقد يعزز وجود بعض مضادات التأكسد اللييوفيلية كالكاروتينويدات والتوكوفرولات في مستخلصات البذور فعاليتها المضادة للتأكسد [22]، بالمقابل أعطت المركبات

المعيارية (حمض الغاليك وحمض الأسكوربيك) قيم لـ IC_{50} $0.36^a \pm 0.04$ mg/ml و $0.33^a \pm 0.05$ mg/ml على التوالي.

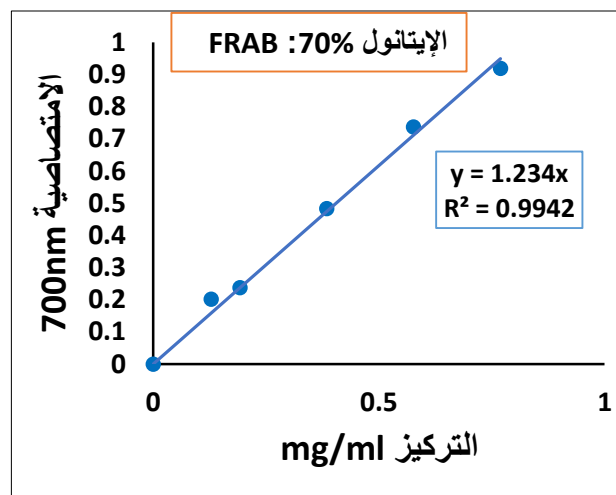
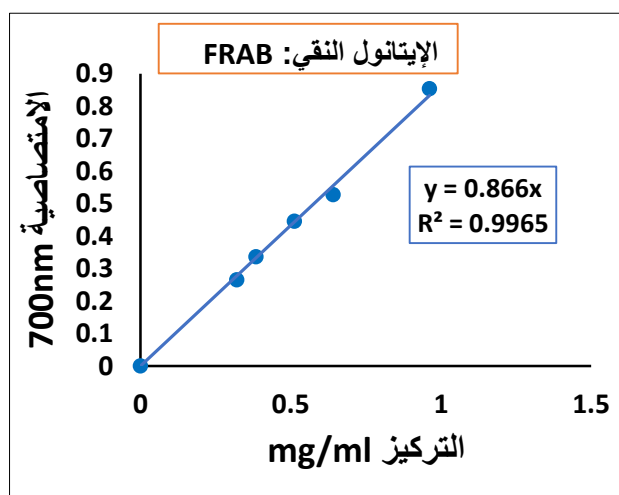
الجدول (5): قيم الـ IC_{50} لمستخلصات بذور *C. spinosa*

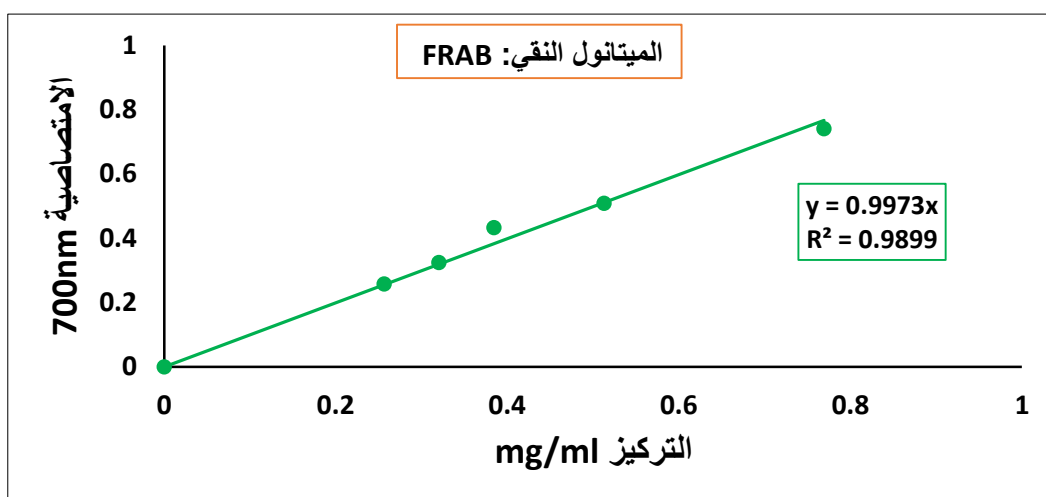
بذور القبار الشوكي <i>C. spinosa</i>	
مذيب الاستخلاص	IC_{50} (mg/ml)
الإيتانول 70%	$0.39^a \pm 0.08$
الميتانول النقي	$0.55^a \pm 0.06$
الإيتانول النقي	$1.56^b \pm 0.34$

تقاربت نتائج القدرة على تثبيط الجذور الحرة DPPH في دراستنا مع الدراسة [23] التي أجراها Rezzan (2013) Aliyazicioglu في تركيا، حيث بلغت قيمة الـ IC_{50} للمستخلص الميتانولي 0.32 mg/ml، من الممكن أن ترتبط الفعالية المضادة للتأكسد بتثبيط جذر الـ DPPH· بالمحتوى الفينولي، بالإضافة إلى استعمال المذيب الأكثر فعالية في استخلاص المركبات الفينولية [24].

6.11. تعيين القدرة على إرجاع أيونات الحديد

تم إجراء تقييم لقدرة المستخلصات المدروسة (المستخلص الإيتانولي 70%، المستخلص الميتانول النقي، المستخلص الإيتانول النقي) لبذور *C. spinosa* على إرجاع أيونات الحديد الثلاثي FRAB باستخدام طريقة القياس الطيفي، حُضرت سلاسل معيارية من مستخلصات البذور بتركيزات مختلفة وقيست الامتصاصية عند طول موجة 700nm، عُبر عن القدرة المضادة للتأكسد وفق اختبار FRAB من خلال قيم EC_{50} والمحسوبة من معادلة الانحدار الخطي البياني للامتصاصية مقابل التركيز (mg/ml) الشكل (9).





الشكل (9): قدرة مستخلصات بذور *C. spinosa* على إرجاع أيونات الحديد FRAB

أظهرت النتائج في الجدول (6)، كفاءة أفضل للمستخلص الإيثانولي 70% في إرجاع أيونات الحديد الثلاثي، الأمر الذي يشير إلى غنى المستخلص الإيثانولي 70% بالمركبات المضادة للتأكسد. من جهة أخرى، أظهر كل من المستخلصات الميتانولية والإيثانولية تقارب في القدرة الإرجاعية، حيث بينت نتائج الدراسة الإحصائية عدم وجود فروق معنوية ($P > 0.05$) بين قيم الـ EC_{50} للمستخلصات سابقة الذكر، وبالتالي يدل على فعالية وكفاءة المركبات الموجودة في المستخلصات السابقة على إرجاع أيونات الحديد الثلاثي.

الجدول (6): نتائج قدرة مستخلصات بذور *C. spinosa* على إرجاع أيونات الحديد

بذور القبار الشوكي <i>C. spinosa</i>	
مذيب الاستخلاص	EC_{50} (mg/ml)
الإيثانول 70%	$0.32^a \pm 0.27$
الميتانول النقي	$0.48^b \pm 0.41$
الإيثانول النقي	$0.61^b \pm 0.11$

قورنت قيم EC_{50} للمستخلصات المدروسة مع قيمة EC_{50} لحمض الأسكوربيك والذي بلغ $0.39^a \pm 0.006$ mg/ml. حيث لوحظ أن قدرة المستخلصات المدروسة على الإرجاع أقل من حمض الأسكوربيك، وهذا ما أكدته الدراسة الإحصائية بوجود فروق معنوية ($P < 0.05$) بين قيم EC_{50} لحمض الأسكوربيك مقارنة مع قيم EC_{50} للمستخلصات المدروسة.

في الدراسة التي أجراها الباحث Yassine Yahia., 2019 في تونس على أوراق *C. spinosa* والمستخلصة بالماء المقطر بثلاث طرق مختلفة وهي النقع والارتجاع والموجات فوق الصوتية، بلغ نشاط مضادات التأكسد وفق اختبار الـ FRAB والمعبر عنها بقيم الـ EC_{50} ، 74.02 و 57.65 و 46.29 (mg/ml) [26]، يمكن تفسير انخفاض النشاط المضاد للتأكسد FRAB نتيجة اختيار طريقة استخلاص أو مذيب غير مناسب لطبيعة المركبات المضادة للتأكسد، حيث أن نوع المذيب يؤدي دوراً مهماً في تحديد فعالية المستخلص النباتي كمضاد للتأكسد، كما أنه العامل الأساسي الذي يحدد كمية ونوعية المركبات الفينولية والفلافونويدية التي يمكن استخلاصه [4, 27]، والتي بدورها تؤدي إلى تفاوت ملحوظ في قيم نشاط مضادات التأكسد وتحديد قدرتها في تقليل الحديد الثلاثي في اختبار [25] FRAB.

12. الاستنتاجات

- ✓ أظهرت نتائج الدراسة غنى مستخلصات بذور *Capparis spinosa* بالمركبات الفعالة حيويًا.
- ✓ أظهر المستخلص الإيثانولي 70% أعلى كفاءة استخلاص.
- ✓ أعطى المستخلص الإيثانولي 70% مستويات أعلى من الفينولات والفلافونويدات.
- ✓ أظهرت المستخلصات الإيثانولية 70% والميتانولية قدرة مقارنة في نشاط مضادات التأكسد

.DPPH

- ✓ أظهر المستخلصات الميتانولية والنقية والإيثانولية النقية قدرة مقارنة على إرجاع أيونات الحديد

.FRAB

13. التوصيات

- ❖ إمكانية استخدام مستخلصات بذور *C. spinosa* كمضاد تأكسد طبيعي في: الصناعات الغذائية، المستحضرات الصيدلانية (مكافحة الإجهاد التأكسدي).
- ❖ الاعتماد على قطبية المذيبات لتحسين استخلاص المركبات النشطة بيولوجيًا.

14. المراجع

- [1] Altemimi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D. G & ،.Lightfoot, D. A. (2017). **Phytochemicals: Extraction, isolation, and identification of bioactive compounds from plant extracts**. Plants, 6(4), 42 ..
- [2] Al-Birawee, A. R & ،.Nasser, A. K. (2019). **Gel extraction from caper fruits (Capparies spinosa L.) and assess its effectiveness as antioxidants**. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 32(2), 74-84 ..
- [3] Andrés, C. M. C., Pérez de la Lastra, J. M., Juan, C. A., Plou, F. J & ،.Pérez-Lebeña, E. (2024). **Antioxidant metabolism pathways in vitamins, polyphenols, and selenium: parallels and divergences**. International Journal of Molecular Sciences, 25(5), 2600 ..
- [4] Tlili, N., Elfalleh, W., Saadaoui, E., Khaldi, A., Triki, S & ،.Nasri, N. (2011). **The caper (Capparis L.): Ethnopharmacology, phytochemical and pharmacological properties**. Fitoterapia, 82(2), 93-101 ..
- [5] Wang, M., Yuan, X & ،.Xu, L. (2023). **Preliminary study on bioassay of Capparis spinosa L. seed extract and seed germination**. PeerJ, 11, e15082 ..
- [6] Tlili, N., Mejri, H., Anouer, F., Saadaoui, E., Khaldi, A & ،.Nasri, N. (2015). **Phenolic profile and antioxidant activity of Capparis spinosa seeds harvested from different wild habitats**. Industrial Crops and Products, 76, 930-935 ..
- [7] Khant, R., Chaudhary, H & ،.Modi, N. R. (2021). **Preliminary phytochemical screening, quantification of total phenols and flavonoids and antioxidant potentiality of Capparis brevispina DC leaf extract**. International Journal of Botany, 6(4), 207-12 ..
- [8] Abu-Shama, H. S. (2019). **Effect of caper (Capparis spinosa) extracts as a natural antimicrobial agent**. Journal of Food and Dairy Sciences, 10(7), 209-216 ..
- [9] Houda, M., Derbré, S., Jedy, A., Tlili, N., Legault, J., Richomme, P & ... ،.Saidani-Tounsi, M. (2014). **Combined anti-ages and antioxidant activities of different solvent extracts of Solanum elaeagnifolium Cav (Solanacea) fruits during ripening and relate** .
- [10] "Sirivibulkovit, K., Nouanthavong, S & ،.Sameenoi, Y. (2018). **based DPPH assay for antioxidant activity analysis**. Analytical sciences, 34(7), 795-800 .".
- [11] دراسة البنية التشريحية وتقييم النشاط المضاد للتأكسد والمحتوى الكلى للفينولات والفلافونويدات لنبات الحندقوق السوري **Melilotus indicus L** (2021). مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، 36(1).

- [12] "Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G & .Mahomoodally, M. F. (2020). **The versatility of antioxidant assays in food science and safety—Chemistry, applications, strengths, and limitations.** Antioxidants, 9(8), 709 .".
- [13] "Dissanayake, D. M. R. H., Deraniyagala, S. A., Hettiarachchi, C. M & .Thiripuranathar, G. (2018). **The study of antioxidant and antibacterial properties of skin, seeds and leaves of the Sri Lankan variety of pumpkin.** IOSR J. Pharm, 8(2), 43-48 .".
- [14] Nawaz, H., Shad, M. A., Rehman, N., Andaleeb, H & .Ullah, N. (2020). **Effect of solvent polarity on extraction yield and antioxidant properties of phytochemicals from bean (Phaseolus vulgaris) seeds.** Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 56, e1712 .
- [15] Anwar, F & .Przybylski, R. (2012). **Effect of solvents extraction on total phenolics and antioxidant activity of extracts from flaxseed (Linum usitatissimum L.)**. ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 11(3), 293-302 ..
- [16] Hematian, A., Nouri, M & .Dolatabad, S. S. (2020). **Kashk with caper (Capparis spinosa L.) extract: quality during storage.** Foods and Raw Materials, 8(2), 402-410 ..
- [17] Sun, T & .Ho, C. T. (2005). **Antioxidant activities of buckwheat extracts.** Food chemistry, 90(4), 743-749 ..
- [18] Bodaghzadeh, A., Alirezalu, K., Amini, S., Alirezalu, A., Domínguez, R & .Lorenzo, J. M. (2021). **Fatty acid composition, phytochemicals and antioxidant potential of Capparis spinosa sedes.** Grasas y Aceites, 72 ,(4)e430-e430 ..
- [19] Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Vidal, N., Lesgards, J. F & .Stocker, P. (2007). **Screening of some Algerian medicinal plants for the phenolic compounds and their antioxidant activity.** European Food Research and Technology, 224, 801-809 ..
- [20] Razali, N., Mat-Junit, S., Abdul-Muthalib, A. F., Subramaniam, S & .Abdul-Aziz, A. (2012). **Effects of various solvents on the extraction of antioxidant phenolics from the leaves, seeds, veins and skins of Tamarindus indica L.** Food Chemistry, 131(2), 441 .-
- [21] Sultana, B., Anwar, F & .Ashraf, M. (2009). **Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts.** Molecules, 14(6), 2167-2180 ..
- [22] Arrar, L., Benzidane, N., Krache, I., Charef, N., Khennouf, S & .Baghiani, A. (2013). **Comparison between polyphenol contents and antioxidant activities**

of different parts of Capparis spinosa L. Pharmacognosy Communications, 3(2), 70 ..

[23] **FATTYACIDS, TOCOPHEROLS AND CAROTENIDS FROM .**

[24] Aliyazicioglu, R., Eyupoglu, O. E., Sahin, H., Yildiz, O & .Baltas, N. (2013). **Phenolic components, antioxidant activity, and mineral analysis of Capparis spinosa L.** African Journal of Biotechnology, 12(47), 6643-6649 ..

[25] Ennacerie, F. Z., Rhazi Filali, F., Moukrad, N., Boudra, M & .Bentayeb, A. (2018). **Evaluation of the antioxidant activity and the cytotoxicity of extracts of Capparis spinosa.** Int J Pharmaceut Sci Drug Res, 10(02), 57-64 ..

[26] "Shahidi, F. (Ed.). (1997). **Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications.** The American Oil Chemists Society .".

[27] Kalantari, H., Foruozaandeh, H., Khodayar, M. J., Siahpoosh, A., Saki, N & . Kheradmand, P. (2018). **Antioxidant and hepatoprotective effects of Capparis spinosa L.** fractions and Quercetin on tert-butyl hydroperoxide-induced acute liver damage in mice. Jour .