

دراسة و تحليل تبعثر المنظومة (${}^9\text{Be}+{}^{64}\text{Zn}$)

باستخدام طريقة التقريب التغايري للعزوم VMA

بطاقة قذف $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$

محمد عمر الخطيب
طالب ماجستير اختصاص الفيزياء النظرية
أ.د. عبد الهادي صوفان
استاذ في قسم الفيزياء
كلية العلوم – جامعة حمص

الملخص:

يتناول هذا المقال العلمي تحليل نظري لتبعثر نواة البيريليوم (${}^9\text{Be}$) عن نواة الهدف (${}^{64}\text{Zn}$) اعتماداً على النموذج الضوئي التبددي (DOM) وطريقته المعروفة بطريقة التقريب التغايري للعزوم (VMA) ضمن المجال الطاقى $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$ ، و خلصت الدراسة إلى تحديد البارامترات الهندسية الوصفية للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية)، و القيم العددية للمقادير الفيزيائية المتمثلة بالعزوم من المرتبة الثانية، والكمونات الضوئية الموافقة لها، بالإضافة إلى حساب المقاطع العرضية الكلية والتفاضلية للتفاعل، و أظهرت النتائج توافقاً واضحاً ومنسجم إلى حد كبير مع البيانات المرجعية والتجريبية باستثناء الكمونات التخيلية التي بدت متباينة بشكل ملحوظ مقارنةً بمثيلاتها في التصنيفات المرجعية، ويُعزى ذلك إلى اعتماد تلك التصنيفات على طريقة تثبيت بعض البارامترات الهندسية،

وفي الختام تم تقديم مجموعة من التوصيات العلمية التي تتضمن اقتراحات لتوسيع نطاق الدراسة لتشمل أنظمة نووية أخرى.

الكلمات المفتاحية:

التبعثر النووي، طريقة التقريب التغيري للعزوم (VMA)، الكمون الضوئي التبددي، العزوم من المرتبة الثانية، المقطع العرضي للتفاعل.

Study and analysis the scattering of the (${}^9\text{Be}+{}^{64}\text{Zn}$) system using the variational moment approach (VMA) with projectile energies $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$

Abstract:

This study presents a theoretical analysis of the scattering of a (${}^9\text{Be}$) nucleus off a (${}^{64}\text{Zn}$) target nucleus, based on the Dispersive Optical Model (DOM) and its associated method known as the Variational Moment Approach (VMA) within the energy range of $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$. The investigation led to the determination of the geometric parameters characterizing the optical potentials (real and imaginary), as well as the numerical values of key physical quantities, including second-order moments and their corresponding optical potentials. In addition, total and differential reaction cross sections were calculated, The results showed a clear and substantial agreement with both reference and experimental data, except for the imaginary potentials which exhibited noticeable discrepancies compared to their counterparts in standard parameterizations. This deviation is attributed to the reliance of those parameterizations on fixing certain geometric parameters a priori.

Finally, a set of scientific recommendations was proposed suggesting the extension of this study to include other nuclear systems.

Keywords:

Nuclear scattering, Variational moment approach (VMA), Dispersive optical potential, Second-Order moments, Reaction cross sections.

مُقدِّمة :

تُعد التفاعلات النووية من المواضيع الأساسية في الفيزياء الحديثة، نظراً لما توفره من معلومات دقيقة حول التركيب الداخلي للنوى ، وآليات انتقال الطاقة بين الجسيمات النووية [7] ، وتُعد دراسة التبعثر (Scattering) واحدة من أكثر الأدوات فاعلية لفهم سلوك النوى تحت تأثير قوى الجذب والتنافر النووية [8] ، حيث أن خواص الجسيمات الأولية التي تتكون منها المادة تتحكم في نشأة وتطور ومصير الكون و أن معرفتنا حول هذه الجسيمات (البروتونات والنيوترونات والإلكترونات والجسيمات) غير وافية وغير كافية لتفسير وتطور الكون [17] ، لذلك فقد أنجزت محاولات عدة من قبل علماء وباحثين فيزيائيين وغيرهم لفهم القوى التي تتحكم في سلوك هذه الجسيمات مع بعضها البعض ومع الجسيمات الأخرى ، وتم التوصل إلى نظرية موحدة تصف الغلاف الخارجي للنواة (بنية الذرة) في ظل غياب نظرية شاملة تصف طبيعة القوى النووية بين النكليونات (البنية الداخلية للنواة) وذلك لوجود عدة صعوبات ومعوقات [12] ، ونتيجة لتلك الصعوبات فقد أدخلت مجموعة من النماذج النووية الأساسية المقترحة التي يتم من خلالها تفسير بعض الخواص النووية والمعمول بها حالياً وهي: (نموذج قطرة السائل (Liquid Drop Model) ، نموذج القشرة (Shell Model) ، النموذج الجماعي (Collective Model) ، النموذج البصري (الضوئي) (Optical Model) ، نموذج الجسيمة المنفردة (Independent Particle Model)،... [3] ، ويُلاحظ أن كل نموذج من هذه النماذج يستند إلى فرضيات محددة تُقيده ضمن نطاق معين، مما يسمح له بتفسير جزء من المعطيات التجريبية، لكنه غالباً ما يفشل عند تطبيقه خارج هذا النطاق ، وقد تطرقنا في هذا البحث إلى استخدام النموذج الضوئي التبددي (DOM) بوصفه إطاراً نظرياً مرناً ، لتحديد بارامترات وشكل الكمونات الضوئية وحساب قيم المقاطع العرضية والتفاضلية لمنظومة المدروسة من علاقات رياضية ثابتة (بعيداً عن التخمين) باستخدام طريقة التقريب التبايري للعزم (Variational moment approach) اختصاراً (VMA) التي تفترض وجود علاقة ارتباط داخلية بين حدي الكمون الضوئي (الحقيقي والتخيلي) من خلال العلاقة التبددية

(Dispersion Relation – DR) [8] ، مما يساهم في تقليص عدد المتغيرات الهندسية إلى اثنين فقط ، بينما يتم تثبيت باقي المتغيرات وفق شروط النموذج.

هدف البحث:

توصيف التأثيرات النووية المتبادلة بين نواة البيريليوم (^9Be) ونواة الهدف الزنك (^{64}Zn) بعلاقات رياضية محددة واستنتاج شكل الكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية) ضمن مجال الطاقة المدروس $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$ بالإضافة الى تحديد قيم مقاطع التفاعل العرضية والتفاضلية للمنظومة المدروسة.

طرق البحث :

أولاً: المكونات الأساسية للنموذج الضوئي التبددي DOM

يعتمد النموذج الضوئي التبددي (DOM) في توصيف التفاعل النووي (نواة + نواة) على تمثيل الحقل الوسطي (Mean Field) بكمون ضوئي مركب يُعطى بالعلاقة التالية :

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

وكما هو موضح من العلاقة (1) أن الحقل الوسطي المتشكل ناجم عن اتحاد عدة مكونات أساسية وهي على الترتيب: [14-16-18-23-26]

1. $V(r, E)$: المكون الحقيقي للكمون الضوئي (كمون التبعثر) ويتألف من مساهمتين الأولى ناتجة من مساهمة كمون هارتي فوك V_{HF} والثانية هي المساهمة التبددية $\Delta V(r, E)$ وتنقسم إلى مركبتين (سطحية تبددية $\Delta V_{\text{d}}(r, E)$ وحجمية تبددية $\Delta V_{\text{w}}(r, E)$) ويعبر عن ذلك بالعلاقة (2):

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

$$V(r, E) = V_{\text{HF}}(r, E) + \Delta V_{\text{d}}(r, E) + \Delta V_{\text{v}}(r, E) \quad (2)$$

1. $W(r, E)$: المكوّن التخليلي 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 لباولي.

$\vec{L}$ 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 مُنتظمة بالعلاقة التالية:

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

$$V_C(r) = \frac{ZZ'e^2}{r} \quad ; r \geq R_C$$

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 وغيرها....، وتُعطى الصيغة التفصيلية لهذا الحقل الممثل بالكمون الضوئي من خلال العلاقة التالية: [9-11]

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

إن كل مكوّن 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 [2] (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:

$$f(r, R_j, a_j) = \frac{1}{[1 + \exp^{\wedge}(\frac{r - R_j}{a_j})]} \quad (8)$$

ثانياً : خطوات تطبيق منهجية VMA [24-22-8-4]

يتلخص جوهر هذه الطريقة بالعلاقة (11) التبديدية، التي تربط بين جزأي الكمون (الحقيقي والتخيلي) وهذا بدوره يقلل عدد المتغيرات الهندسية للكمون الضوئي المطلوب حسابها، ويساعد على استنتاج الشكل المناسب لكل مكوّن من مكونات الكمون النووي الموضح في العلاقة (6)، ويعطي وصف جيد لسلوك المقاطع العرضية للتفاعل والتفاضلية بدلالة تابعيتها للطاقة، وفيما يلي عرض منهجي للخطوات التي تم اتباعها لتطبيق هذه الطريقة ضمن الإطار النظري للبحث:

أولاً: تحديد مكونات الحقل النووي الموضح في العلاقة (6) ويتم ذلك وفق التالي:
بالنسبة للمكون الحقيقي للكُمون الضوئي فهو يتألف من مساهمتين، يتم تحديد المساهمة الأولى
الممثلة بكُمون (هارتي- فوك) بالعلاقة التالية:

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

حيث: $f(x_{HF})$ يمثل صيغة معامل البنية (Wood-Saxon form)، و $[r^2]_{HF}$ يمثل العزم
من المرتبة الثانية لكُمون (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 التبديدية 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 المكون التخيلي للكُمون 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 التخيلية (السطحية والحجمية والكلية) على الترتيب ، وتحدد من خلال علاقة براون راو (Brown-Rho) التالية: [10]

$$J_{wd}(E) = J_W(E) - J_{Ww}(E)$$

$$= \beta_2 \left\{ \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_2^2} - \frac{(E - E_0)^2}{(E - E_0)^2 + \rho_w^2} \right\} \quad (13)$$

حيث: $(\rho_w, \rho_2, \beta_2)$ تُمثل 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.

ثانياً : إيجاد حلول معادلة شرودنغر الموجية

تُحل معادلة شرودنغر الموجية المتضمنة لشكل الكمون الموضح بالعلاقة (6) وذلك بعد تحديد وإيجاد مكوناته ووسطاء الهندسية، باستخدام البرنامج (Spi-geoa) [5]، الذي يعطينا القيم النظرية للكميات الفيزيائية الأساسية المرتبطة بعملية التبعثر النووي بما في ذلك المقاطع العرضية التفاضلية، المرنة، والتفاعلية ضمن مجال الطاقة المحدد.

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

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

النتائج والمناقشة:

بناءً على الخطوات السابقة وبعد تحليل البيانات المرجعية والحسابات العددية المستخرجة وفق منهجية VMA تم التوصل إلى ما يلي:

1. تم تحديد البارامترات الهندسية للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية) الخاصة بالمنظومة النووية $(^9\text{Be}+^{64}\text{Zn})$ ضمن المجال الطاقى المحدد $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$ كما هو مبين في الجدول (1):

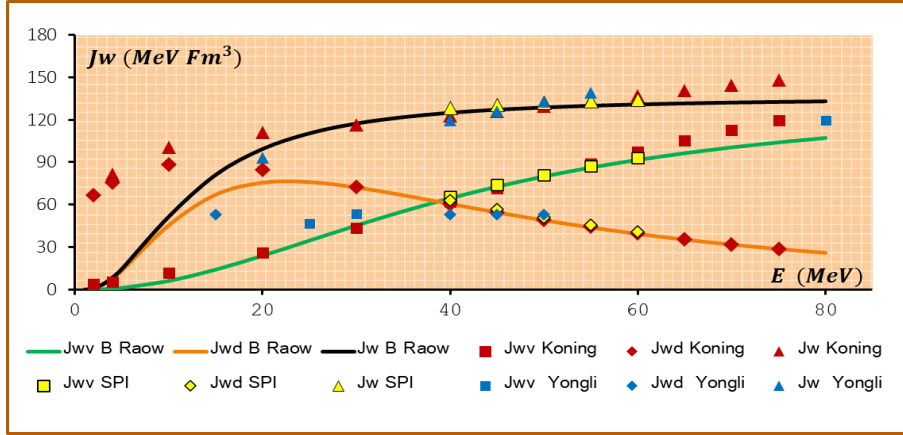
E	V _v	W _v	W _d	r _v	a _v	r _w	a _w	r _d	a _d
(MeV)				(Fm)					
40	219.168	49.014	35.037	1.415	0.661	1.358	0.646	1.358	0.646
45	210.843	55.233	31.554	1.406	0.661	1.358	0.646	1.358	0.646
50	202.311	60.696	28.314	1.399	0.661	1.358	0.646	1.358	0.646
55	193.77	65.457	25.38	1.393	0.661	1.358	0.646	1.358	0.646
60	185.337	69.579	22.761	1.389	0.661	1.358	0.646	1.358	0.646
V _{so} =0.560 MeV				r _{so} =0.590 Fm			a _{so} =1.025 Fm		

الجدول (1) قيم البارامترات الهندسية للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية) الخاصة بالمنظومة النووية $(^9\text{Be}+^{64}\text{Zn})$ التي حصلنا عليها من البرنامج (VMA)

2. حُسبت العزوم من المرتبة الثانية للكمونات التخيلية (السطحية والحجمية) باعتماد على علاقة براون- راو (Brown-Rho) [10]، ومُثلت بيانياً كما هو موضح بالشكل (1) :

دراسة و تحليل تبعثر المنظومة ($^9\text{Be}+^{64}\text{Zn}$)

باستخدام طريقة التقريب التغيري للعزوم VMA بطاقة قذف $E_{\text{Be}}=(40-60)\text{MeV}$



الشكل (1) يمثل تغيرات العزوم من المرتبة الثانية بدلالة الطاقة للمنظومة النووية ($^9\text{Be}+^{64}\text{Zn}$)

نلاحظ من الشكل (1) أن العزوم التخيلية (الحجمية $J_{\text{Ww}}(E)$ - السطحية $J_{\text{Wd}}(E)$ و الكلية J_{W} (E) تبدي سلوكاً مختلفاً لتابعيتها للطاقة ، ويعود ذلك الى الدور الذي تلعبه التأثيرات السطحية والحجمية من حيث التشاركية الفعالة للنيوكليونات ، ومنافستها مع بعضها البعض بداخل النواة ، حيث أن التأثيرات السطحية تكون أكثر فعالية في البداية (مجال الطاقات المنخفضة) ومع زيادة الطاقة تصبح التأثيرات الحجمية أكثر فعالية وتسيطر على التفاعل و نلاحظ أيضاً التوصيف الجيد الذي أظهرته علاقة براون راو للعزوم التخيلية المحسوبة وفق البرنامج (Spi Genoa- VMA) (نتائج الدراسة) ، الأمر الذي يؤكد صحة ودقة تحديد الوسطاء الهندسية ، وعلى أثر ذلك تم تحديد الوسطاء الهندسية لمنهجية VMA

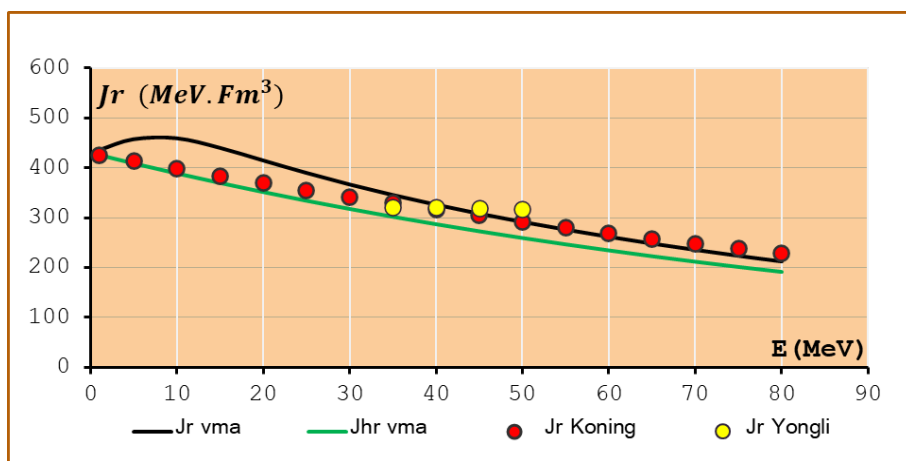
3. تم استخلاص الوسطاء الهندسية لطريقة VMA، كما هو موضّح في الجدول (2):

E_0	ρ_2	ρ_w	2β
-------	----------	----------	----------

(MeV)			(MeV.Fm ³)
1	11.5	41	136

الجدول (2) الوسطاء الهندسية الخاصة بطريقة VMA

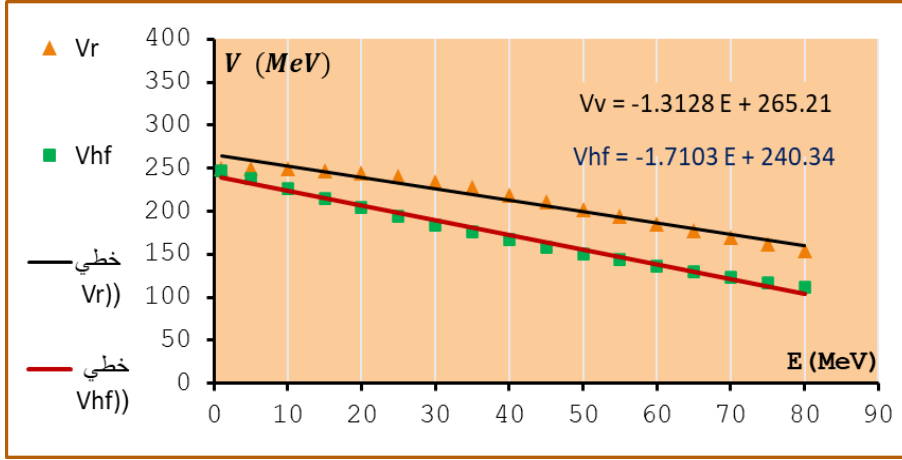
4. تم التوصل إلى القيم العددية للعوام الحقيقية للكمون الضوئي، بالإضافة إلى استنتاج عزم هارتي-فوك، مما يعزز التفسير الفيزيائي لبنية الحقل النووي الوسطي كما هو موضح في الشكل (2):



الشكل (2) تغيرات العزم الحقيقي وعزم هارتي فوك بدلالة الطاقة للمنظومة المدروسة

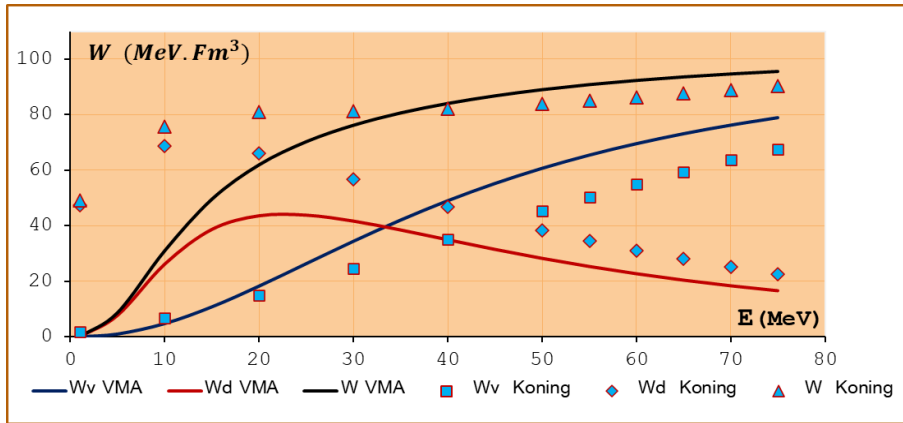
نلاحظ من الشكل (2) التوافق الجيد بين القيم العددية للعوام الحقيقية مع مثيلاتها المرجعية [20-21] وهذا دليل آخر على التوصيف الجيد للمعطيات التجريبية الخاصة بالنوى المدروسة من جهة، والدقة في تحديد البارامترات والوسطاء الهندسية من جهة أخرى لجميع النوى المدروسة ضمن مجال الطاقة المحدد.

5. تم استنتاج قيم الكمونات الضوئية الحقيقية والتخليوية (السطحية والحجمية) والشكل (3) والشكل (4) يوضح ذلك:



الشكل (3) يمثل التابعية الطاقية للكمون الحقيقي وكمون هارتي فوك للمنظومة المدروسة

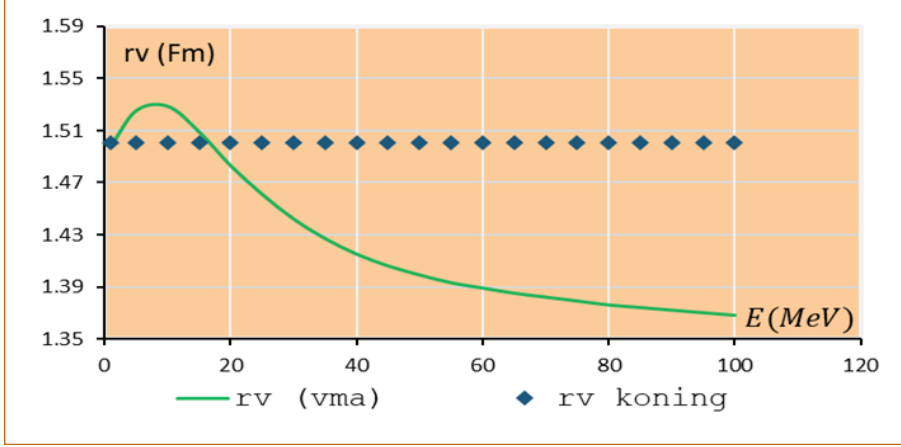
نلاحظ من الشكل (3) أن التابعية الطاقية للكمون الحقيقي $V_V(E)$ وكمون هارتي فوك $V_{HF}(E)$ هي وبتقريب جيد تابعية خطية ضمن مجال الطاقة المحدد، وتم التعبير عن سلوكها بدلالة الطاقة بالعلاقات الموضحة على الشكل (3)، حيث أنه من خلال هذه العلاقات يمكننا تحديد قيمة الكمونات الحقيقية وهارتي فوك من أجل أي قيمة طاقية، وهذا سيملاً النقص ويعزز البيانات المرجعية في مناطق طاقية مختلفة ومهما كانت الخطوات الطاقية المعتبرة.



الشكل (4) يمثل التابعة الطاقةية للكمونات التخيلية (السطحية والحجمية والكلية) للمنظومة المدروسة

نلاحظ من الشكل (4) أن الكمونات التخيلية تملك سلوكاً مشابهاً لسلوك الكمونات الموافقة لها في التصنيفات المرجعية [20-21]، ولكن باختلاف قيمها العددية كون التصنيفات المرجعية تعتمد على مبدأ تثبيت قيم بعض البارامترات مثل (نصف القطر والنفاذية) بدلالة تابعيتها للطاقة، مما أدى الى الاختلاف في قيم الكمونات مع المحافظة على السلوك نفسه.

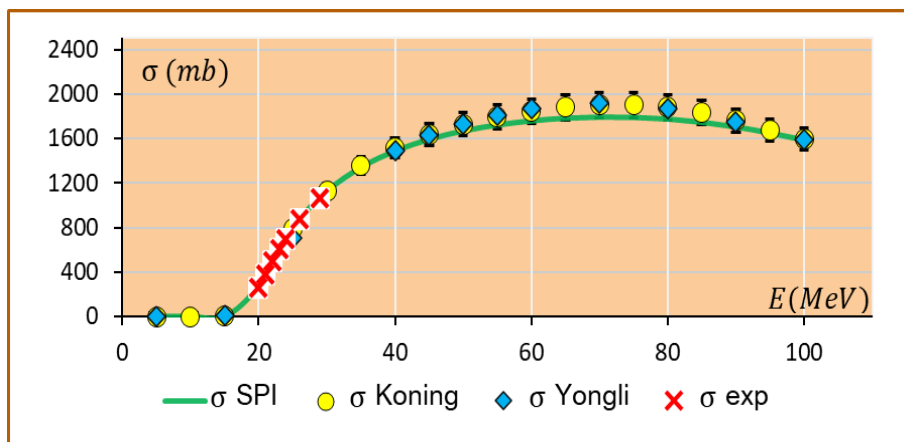
6. تحديد قيم نصف قطر الكمون الحقيقي $rv(E)$ ودراسة تابعيته للطاقة ومثل بيانياً كما في الشكل (5):



الشكل (5) يمثل تغيرات نصف القطر الحقيقي بدلالة الطاقة للمنظومة المدروسة

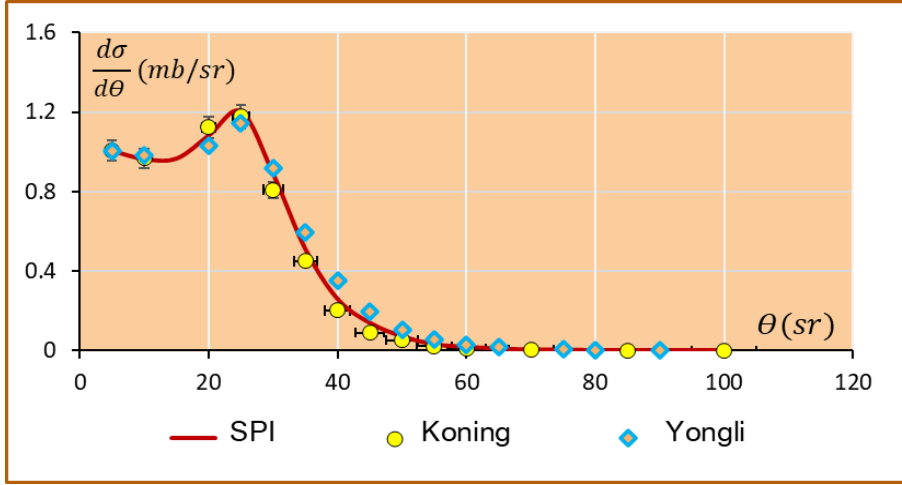
نلاحظ من الشكل (5) وبالمقارنة مع البيانات المرجعية [20-21] التقاء الخط البياني مع عدد محدد من النقاط المرجعية عند قيم طاقة مختلفة، ومن النادر الالتقاء مع كل النقاط الأخرى وذلك لأن التصنيفات المرجعية كم ذكرنا سابقاً تعتمد على طريقة تثبيت بعض البارامترات الهندسية للكمون الضوئي ومنها نصف القطر، وبالتالي هذا لا يعكس التغيرات التي تطرأ على نصف القطر بشكل واضح ولا على التأثيرات المتبادلة بين القذيفة والهدف أيضاً.

7. حُسبت القيم العددية للمقاطع العرضية للتفاعل والمقاطع العرضية التفاضلية للمنظومة المدروسة وتم تمثيلها بيانياً، ومقارنتها مع النتائج المرجعية والتجريبية الموافقة لها، لتوثيق فعالية النموذج في محاكاة عملية التبعثر بدقة، والشكل (6) والشكل (7) يوضحا ذلك:



الشكل (6) يمثل تغيرات المقطع العرضي للتفاعل بدلالة الطاقة للمنظومة المدروسة

نلاحظ من الشكل (6) التوافق الجيد لقيم مقاطع التفاعل المحسوبة وفق طريقة VMA $\sigma(\text{spi})$ والقيم المحسوبة وفق التصنيفات المرجعية [20-21] ومع القيم التجريبية الموافقة لها [13-15-19-25]، وبالتالي يمكننا الحكم وبشكل نهائي على مدى صحة هذه الطريقة (طريقة VMA) وقدرتها على توصيف النوى، وبالتالي معالجة (حل) مشكلة نقص البيانات المرجعية فيما يتعلق بدراسة تفاعل ^9Be مع أهداف أخرى مختلفة، وضمن مجالات طاقة مختلفة وأوسع.



الشكل (7) يمثل تغيرات المقطع العرضي التفاضلي بدلالة الطاقة

نلاحظ من الشكل (7) التوافق الجيد بالسلوك والتقارب بالقيم العددية بين نتائج الدراسة ونتائج الدراسات المرجعية [13-15-19-25] ونتائج التصنيفات [20-21] ونلاحظ أيضاً ظهور قمة بالقرب من الزاوية $\theta=20^\circ$ تدل على قيمة عظمى للمقطع العرضي التفاضلي عند قيمة طاقة ثابتة $E_{\text{Be}}=50 \text{ MeV}$ ، وبالتالي تساعدنا هذه التابعية في تحديد أفضل زاوية ورود للجسم الوارد (القذيفة) من أجل قيمة طاقة محددة ، بناءً على التقنية المراد استخدام المنظومة (هدف $^9\text{Be}+$) فيها .

الاستنتاجات والتوصيات:

وفقاً لما أظهرته النتائج والتحليلات السابقة، يمكن القول أن النموذج الضوئي التبددي (DOM) يقدم منهجية دقيقة ومتقدمة لتوصيف الكمون الضوئي بشكل دقيق واستنتاج العزوم من المرتبة الثانية المرتبطة به، كما يتيح هذا النموذج حساب المقاطع العرضية للتفاعل بصورة تُظهر توافقاً كبيراً مع البيانات المرجعية والتجريبية مما يوفر تصور مستقبلي واضح لبنية النوى المدروسة، وبهذا يُعزّز من إمكانية اعتماده كمرجعية علمية أساسية في تحليل النتائج وتصنيف الظواهر النووية وفق أسس منهجية علمية ومدروسة.

نوصي بـ :

تصميم برمجيات متخصصة تستند إلى العلاقات المستخلصة من هذا النموذج، مما يُسهّل توسيع نطاق تطبيقه ويعزز من موثوقيته كمرجع علمي في دراسات مستقبلية.

المراجع:

1. Schrödinger, E. (1926). An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules. *Physical Review*, 28(6), 1049–1070.
2. Woods, R. D., & Saxon, D. S. (1954). Diffuse surface optical model for nucleon-nuclei scattering. *Physical Review*, 95(2), 577–578.
3. Preston, M. A., & Bhaduri, R. K. (1975). *Structure of the Nucleus*. Addison-Wesley.
4. 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>
5. PEREY F.G. code SPI-GENOA (unpublished)1976.
6. Scheerbaum, R. R. (1976). Spin-orbit coupling in the optical model for nucleon-nucleus scattering. *Nuclear Physics A*, 257(1), 77–92. 16(1), 80–96.
7. Krane, K. S. (1987). *Introductory Nuclear Physics*. Wiley
8. Mahaux, C., & Sartor, R. (1991). Dispersion relation approach to the mean field in nuclei and the nuclear optical model. *Advances in Nuclear Physics*, 20, 1–223.
9. Varner, R. L., Thompson, W. J., McAbee, T. L., Ludwig, E. J., & Clegg, T. B. (1991). A global nucleon optical model potential. *Physics Reports*, 201(2), 57–119.
10. Brown, G. E., & Rho, M. (1991). Scaling effective Lagrangians in a dense medium. *Physical Review Letters*, 66(20), 2720–2723.
11. ROMANOVSKY E. A ,BELAL. A , MORZENA L .R,1993 , News. RAS ,Phys . Vol . 57, No . 10 , P. 179.
12. Greiner, W., & Maruhn, J. A. (1996). *Nuclear Models*. Springer.

13. S. B. Moraes, P. R. S. Gomes, J. Lubian, J. J. S. Alves, R. M. Anjos, M. M. Sant'Anna, I. Padrón, C. Muri, R. Liguori Neto, and N. Added, Phys. Rev. C 61, 064608 (2000).
14. Hilaire, S., & Girod, M. (2001). Microscopic optical potential from Hartree-Fock-Bogoliubov calculations. European Physical Journal A, 12(2), 169–176.
15. P.R.S. Gomes, M.D. Rodriguez, G.V. Martí, I. Padrón, L.C. Chamon, J.O. Fernández Niello, O.A. Capurro, A.J. Pacheco, J.E. Testoni, A. Arazi, M. Ramírez, R.M. Anjos, J. Lubian, R. Veiga, R. Liguori Neto, E. Crema, N. Added, C. Tenreiro, M.S. Hussein, Phys. Rev. C 71 (2005) 034608.
16. Charity, R. J., & Sobotka, L. G. (2008). Dispersive optical-model analysis of neutron scattering on ${}^{208}\text{Pb}$. Physical Review C, 77(4), 044611.
17. Griffiths, D. J. (2008). Introduction to Elementary Particles (2nd ed.). Wiley-VCH.
18. 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.
19. A. Di Pietro, G. Randisi, V. Scuderi, L. Acosta, F. Amorini, M. J. G. Borge, P. Figuera, M. Fisichella, L. M. Fraile, J. Gomez-Camacho et al., Phys. Rev. Lett. 105, 022701 (2010).
20. A.J. Koning and D. Rochman, Nuclear Research and Consultancy Group NRG, P.O. Box 25, 1755 ZG Petten, The Netherlands (Dated: September 27, 2012)
21. Yongli Xu, Yinlu Han, Haiying Liang, Zhendong Wu, Hairui Guo, and Chonghai Cai, Physical Review C 99, 034618 (2019).
22. Dickhoff, W. H., & Charity, R. J. (2019). Dispersive optical model analysis of nuclear reactions. Progress in Particle and Nuclear Physics, 105, 252–299.
23. Al-Mustafa, H., & Belal. A. (2019). A Dispersive Optical Model Analysis of the (Coulomb-Nuclear) Interference Potential , ALBAATH university- Syria HOMS.

24. 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.
25. Awad A. Ibraheem , Ghadhiyyah M. Alzamanan , B. Alsarhani , M. El-Azab Farid , W. Alharbi , Sh. Hamada , Brazilian Journal of Physics (2021) 51:753–763.
26. Holt, J. W., & Whitehead, T. R. (2022). Modern approaches to optical potentials. Handbook of Nuclear Physics. arXiv preprint.