دراسة أثر الإضافة التبددية في الكمون الضوئي للمنظومة ($P+^{96}Rh$) باستخدام طريقة VMA

ملك العلي أ.د.أنيس بلال د.مفيد دياب

الملخص :

تم في هذا البحث دراسة تحليلية عددية لتبعثر البروتونات بوساطة نظير الروديوم-96 (^{96}Rh) في مجال الطاقات المنخفضة والمتوسطة باستخدام النموذج الضوئي التبددي وذلك بطريقة التقريب التغايري للعزوم (VMA) التي تنطلق من العلاقة التبددية للكمون الضوئي بجزأيه (الحقيقي و التخيلي)، تم إجراء تحليل للبيانات المتعلقة بالتفاعل ($P+^{96}Rh$) باستخدام برنامجين (Genoa-SPI) و(VMA-SPI) لإجراء الحسابات اللازمة .

وتم الحصول على البارامترات المثالية للكمون الضوئي التبددي للتفاعل ($P, ^{96}Rh$) و استنتاج العلاقة الشاملة للكمونات ضمن مجال واسع من الطاقة .

بعدئذٍ قمنا بإيجاد القيم العددية لمقاطع التفاعل الكلية $\sigma_{tot}(E)$ في المجال الطاقي المنخفض والمتوسط وتم إيجاد المقاطع التفاضلية$\boldsymbol{\sigma(\theta)}$ من أجل مجال واسع من الزوايا وذلك عند قيمة طاقية محددة ، و تبيَّن من خلال الإضافة التبددية في الكمون الضوئي و مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية (التجريبية) (التصنيفات الوسيطية الشاملة للكمونات) تقاربها بشكل جيد مع وجود مقدار الخطأ المرتكب صغير جداً بمقدار (0.01) وهو أقل بكثير من قيمة الخطأ المرتكب فيما لم يتم أخذ بعين الاعتبار الإضافة التبددية .

أيضاً تم تحديد التكاملات الحجمية بالنسبة للجزء الحقيقي و التخيلي وكموناتها للمنظومة ($P+^{96}Rh$) و أظهرت توافقاً جيداً مع مثيلاتها التجريبية .

تمَّ تحديد أنصـــــاف الأقطار للمنظومة ($P+^{96}Rh$) في المجال الطاقي المنخفض و المتوسط وأظهرت الحسابات بتقاربها مع الدراسة المرجعية الدقة العالية بتحديد البارامترات الهندسة للكمون الضوئي و للطريقة التبددية.

الكلمات المفتاحية:

العلاقة التبددية ، طريقة (VMA) ، المقطع الكلي للتفاعل ، الكمون الضوئي

Studing the effect of dispersion addition in the Optical potential for the (P+^{96}Rh) system using (VMA) method

Abstract:

In this research, a numerical analytical study was conducted of the scattering of protons by the isotope rhodium-96 (^{96}Rh) in the field of low and medium energies using the dissipative optical model using the variational approximation of moments (VMA) method, which is based on the dissipative relationship of the photocattern with its two parts (real and imaginary) An analysis of the data related to the reaction (P+^{96}Rh) was carried out using two programs (SPI-Genoa) and (VMA-SPI) to perform the necessary calculations.

The ideal parameters for the dissipative light potential of the reaction (P,^{96}Rh) were obtained and the comprehensive relationship of the potentials within a wide energy range was deduced.

Then we found the numerical values of the total reaction sections $\sigma_{tot}(E)$ in the low and medium energy range, and the differential sections σ(θ) were found for a wide range of angles at a specific energy value, It was shown through the dissipative addition in the optical potential and comparing it with its reference (experimental) counterparts (the comprehensive intermediate classifications of potentials) that it converges well, with the amount of error committed being very small by (0.01), which is much less than the value of the error committed, while the addition was not taken into account Dissipative .

The volumetric integrals were also determined with respect to the real and imaginary parts and their potentials for the system ($P+^{96}Rh$) and showed good agreement with their experimental counterparts.
The radii of the ($p+^{96}Rh$) system in low and medium energy ranges were also determined. The calculations highlighted their convergence with high-precision reference studies, underscoring the accuracy of the geometric parameterization of the optical potential and the effectiveness of the dispersive method.

Keywords: Dispersive relation, VMA method, Total reaction cross section, Optical potential.

مقدمة:

تُعتبر الفيزياء النووية فرعاً حيوياً من فروع العلوم الفيزيائية التي تركز على دراسة نوى الذرة، وما تحتويه من مكونات أساسية مثل البروتونات والنيوترونات، بالإضافة إلى التفاعلات النووية التأثيرات المتبادلة التي تحدث بين هذه الجسيمات. منذ اكتشاف النواة في أوائل القرن العشرين، شهدت الفيزياء النووية تطوراً كبيراً، حيث أسهمت في فهم العديد من الظواهر الطبيعية، بالإضافة إلى تطبيقاتها المتعددة وخاصة في المجال الطبي التصوير الإشعاعي.

وفي الفيزياء النووية تعتبر دراسة التأثير المتبادل بين النيكليونات والنواة من الدراسات المهمة ،لما تقدمه من معلومات قيّمة ومفيدة عن التفاعلات النووية ولذلك يجب أن نوليها اهتماماً خاصاً ،خاصة بعد ظهور النماذج الحديثة والمتطورة كالنموذج الضوئي التبددي (Dispersiv Optical– Model)اختصاراً (DOM) [1].

ومن أجل دراسة البنية النووية للذرات ، فقد وضعت العديد من النماذج التي توَّصف النواة الذرية كالنموذج الضوئي الذي يعتبر النواة عبارة عن وسط متصل /مصمت/ يبدي

انكساراً وامتصاصاً لأمواج /دي- بروي/ الخاصة بالجسيمات التي تسقط عليها لذلك درست النواة في هذه الحالة كدراسة خواص الضوء من الانعكاس والانكسار والامتصاص وهكذا يفترض بناءاً على هذا النموذج أن للجسيم الوارد مساراً حراً وسطياً (Mean Free path معيناً في النواة بمعنى أنه يوجد احتمال معين للامتصاص أثناء عبوره للنواة ويدرس عبور الجسيم للنواة عن طريق ادخال الانكسار المركب وبشكل أدق الكمون المركب الذي يفهم بالتابع المركب:

$$U = V + iW$$

حيث V :(يمثل الجزء الحقيقي للجهد الذي يصف عملية تبعثر النيكليونات عن النواة).

W: (يمثل الجزء التخيلي للجهد و يصف عملية امتصاص النيكليونات).[2]

في الوقت الحاضر يستخدم النموذج الضوئي والطبقي في دراسة بنية النوى الذرية وفي التفاعلات النووية، وعلى مر السنوات الماضية فقد حقق النموذج الضوئي نجاحاً وخاصة في تقديره لقيم مقاطع التفاعل وتقديمه معطيات عن التبعثر (المرن و اللامرن) ولكن على مر العقدين الماضيين كرست دراسات وأبحاث لإعطاء صياغة صحيحة للحقل الوسطي (الكمون) في المجال الطاقات الموجبة والسالبة ونتج عن ذلك تحديث وتطوير للنموذج الضوئي إلى نموذج آخر دعي بالنموذج الضوئي التبددي[4-3].

عرفت بـــ (VMA) أي التقريب التغايري للعزوم التي تعتبر أن مكوني الكمون الضوئي (الحقيقي والتخيلي) ذات ارتباط داخلي من خلال العلاقة التبددية (DR) مما يجعل عدد البارامترات الهندسية لا يتجاوز الاثنين والباقي يتم تثبيته بشكل كامل.[5]

طبقت هذه الطريقة بدايةً لدراسة منظومات النوى السحرية ($P+^{40}Ca$), ($P+^{208}$ Pb) وقد حققت نجاحاً لافتاً ، لذلك طبقت لدراسة النوى غير السحرية التي تمتاز بنيوكليون ونيوكليونين أعلى من الطبقة السحرية وقد حققت نجاحاً جيداً بتوصيفها لآلية التبعثر المرن وفي مجالات طاقية مختلفة ، لذلك قمنا بهذا البحث معتمدين هذه الطريقة لدراسة

التفاعل($P+^{96}Rh$) وذلك لمعرفة ماهي الخصـــائص والنتائج التي يمكن التوصـــل عليها من خلالها.

هدف البحث: معرفة مقدار التحسين في الكمون الضـوئي الناجم عن الإضـافة التبددية وتأثيره على مقاطع التبعثر (الكلية والتفاضـــلية) للتفاعل($P, ^{96}Rh$) .في إطار النموذج الضوئي التبددي طريقة (VMA)، و وضع قائمة بالبيانات الجديدة لمقاطع التفاعل الكلية والتفاضلية المبنية على البارامترات الهندسية المستخدمة للكمون الضوئي التبددي.

منهجية ومحتوى طريقة VMA:[5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16]

يعطى الكمون الضـوئي الذي ينتج عن التأثير المتبادل (نكليون – نواة) بالعلاقة التالية :

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

حيث أن الحد الأول من العلاقة (1) هو الجزء الحقيقي للكمون الضـــوئي $V(r,E)$ و يتكون من مجموع مركبتين:

المركبة الأولى : كمون هارتي فوك V_{HF}.

المركبة الثانية : المســـاهمة التبددية (تتألف من مجموع حدين تبددي ســـطحي $\Delta V_d(r,E)$ و تبددي حجمي $\Delta V_w(r,E)$.

و الحد الثاني هو الجزء التخيلي للكمون الضـــوئي $W(r,E)$ يتكون من مركبتين (تخيلية سطحية $W_d(r,E)$ وتخيلية حجمية $W_w(r,E)$

والحد الثالث هو الكمون الســـبيني المداري $V_{LS}(r,E)$ (ينتج عن التأثير المتبادل بين العزم السبيني والعزم المداري)

والحد الرابع هو الكمون الكولوني$V_c(r)$ ويعبر عنه بدلالة نصف القطر المتبادل $R_c = r_c A^{1/3}$.

تبعاً لما سبق تكتب العلاقة بالصيغة التفصيلية الآتية:

$$U = (r,E) = V_{HF}(r,E) + \Delta\ V_d(r,E) + \Delta V_w(r,E) + i\big(W_d(r,E) + W_w(r,E)\big) + V_{LS}(r,E) + V_c(r) \qquad (2)$$

يقترح استخدام شكل كمون وودا ساكوسون (Woods–Saxon form)لوصف التابعية القطرية لكل من الحدود الواردة في العلاقة (2) والذي يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$V(r,E) = V_j(E).f(r,R_j,a_j) \qquad (3)$$

حيث أن :

$$f\left(r,R_j,a_j\right) = \frac{1}{[1+e^{(\frac{r-R_j}{a_j})}]} \quad , \quad R_j = r_j A_j^{1/3}$$

نعتبر قيم الوسطاء الخاصة بالكمون $V_{LS}(r,E)$ و الكمون الكولوني غير تابعة للطاقة لذلك تؤخذ كقيم ثابتة .

$$V_{LS} = 6.8Mev \qquad r_{LS} = 1.2\ Fm \qquad a_{LS} = 0.6\ Fm \qquad r_c = 1.22\ Fm$$

محتوى طريقة ال VMA:

الهدف الأساسي تحديد مكونات الحقل النووي الوسطي في العلاقة (1) من أجل التفاعل المدروس كما يلي:

بدايةً نحدد القيمة العددية للمكون التبددي للجهد (السطحي والحجمي) برمجياً من خلال العلاقتين :

$$\Delta V_w(r,E) = \frac{2}{\pi}(E-E_F)\int_{E_F}^{\infty}\frac{W_w(r,E)dE}{(E-E_F)^2-(E-E_F)} \qquad (4)$$

$$\Delta V_d(r,E) = \frac{2}{\pi}(E-E_F)\int_{E_F}^{\infty}\frac{W_d(r,E)dE}{(E-E_F)^2-(E-E_F)} \qquad (5)$$

ثم نحديد الكمون التخيلي الحجمي (W_w) والسطحي(W_d) من خلال العلاقة التبددية للعزوم :

$$[r^2]_w(E) = [r^2]_{w_w}(E) + [r^2]_{w_d}(E) = \frac{4\pi}{A}\int_0^{\infty}[W_d(r,E) + W_w(r,E)]r^2dr \quad (6)$$

حيث $[r]^2(E)$ يمثل التكامل الحجمي للكمون الضـــوئي (العزوم من المرتبة الثانية) بالنســـبة للجزء التخيلي (الســـطحي والحجمي) و يحددان تحليلياً وفق علاقة (براون– راو):

$$[r^2]_{wwd}(E) = \beta_2[\frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_2} - \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_w}] \quad (7)$$

حيث: ρ_w, ρ_2, β_2 تمثل وسطاء براون راو (Brown–Rho)

و E طاقة القذيفة ، E_0 بارامتر يتعلق بخصـائص المسـتويات الفرعية للتفاعل (P+A) و يعطى بالعلاقة $E_0 = \frac{E_F}{2}$ حيث E_F طاقة سوية فيرمي بوحدة Mev

حيث أن : $E_0 = 1.97$ E_F=3.95

وبعد نقوم بحساب عزم هاتري فوك من خلال العلاقة التالية:

$$J_{HF} = \frac{4\pi}{3}\frac{R_{HF}^3}{A}\left[1 + \left(\frac{\pi a_{HF}}{R_{HF}}\right)^2\right].U_{HF}(E) = g_{HF}.V_{HF}(E)$$

$$U_{HF}(E) = V_0 - \left(\frac{N-Z}{A}\right).V_1 = 54{,}4 - \left(\frac{51-45}{96}\right).42{,}8 = 56.6625$$

$$R_{HF} = r_{HF}A^{1/3} = 5.6594$$

$V_0 = 54.4$ $V_1 = 42.8$ العمل وفق[17]

$a_{HF} = 0.62$ $r_{HF} = 1.236$

ونوجد الوســـطاء (r_w, r_d, a_w, a_d) نثبتها كقيم وســـطية للبارامترات العشـــوائية للكمون الضـــوئي العادي بعد الانتهاء من تحديد مكونات العلاقة (2) يصـــبح الحقل بصـــيغته النهائية بالشكل:

$$U(r,E) = \frac{[r^2]_{HF}(E_F)}{g_{HF}} \exp[\alpha_{HF}(E-E_F)]\, f(x_{HF}) + \Delta V_w(E) f(x_w) + \Delta V_d(E) g(x_d) + iW_w f(x_w) + iW_d\, g(x_d) + V_{ls}(\mathrm{r},\mathrm{E}) + V_c(\mathrm{r}) \quad (8)$$

وأخيراً وبعد تحديد جميع مكونات الكمون الضـــوئي وتحديد وســـطائه، يتم حل معادلة شرودينغر الموجية المتضمنة لشكل الكمون وهي:

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

و باســتخدام SPI يتم إيجاد مقاطع التفاعل ضــمن المجال الطاقي المدروس و مقارنتها مع مثيلاتها التجريبية و مع التمثيلات العالمية و الوسطية [18–19]

خطوات العمل:

1–أجريت في البداية تحليلات للبيانات المرجعية المتعلقة بالمنظومة $(P + {}^{96}Rh)$ ضـمن المجال الطاقي المدروس (الطاقات المنخفضـة والمتوسـطة)، وتم الحصـول على بارامترات أولية للكمون الضـــوئي و معلومات للعزوم من المرتبة الثانية بالنســـبة للجزء الحقيقي و التخيلي (السطحي والحجمي) للكمون.

2– شـــكلت وكخطوة أولية البيانات المتعلقة بالعزوم من المرتبة الثانية (التكاملات الحجمية) بالنسبة للجزء الحقيقي للكمون J_R والتخيلي J_W (الحجمي J_{W_w} والسطحي J_{W_d}) مجموعة تناســـقية يمكن البناء عليها و قبلت بيانياً ضـــمن المجال الطاقي المدروس وبطريقة المحاكاة تم تحديد قيم الوسطاء الهندسية E_F ، E_0 ، ρ_w ، ρ_2 ، β_2 و قيمها تساوي :

$$E_0 = 1.97MeV \qquad E_F = 3.95MeV$$

$\beta_2 = 94MeV\ Fm^3$ $\rho_2 = 52MeV$ $\rho_w = 3MeV$

باستخدام العلاقات:

$$J_W(E) = \beta_2 \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_2^2}$$

$$J_{W_w}(E) = \beta_2 \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_w^2}$$

$$J_{wd}(E) = \beta_2[\frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_2^2} - \frac{(E-E_0)^2}{(E-E_0)^2+\rho_w^2}]$$

3- وفقاً لمنهجية طريقة (VMA) ، أخذت قيم البارامترات الهندسية (الأولية) للكمونات الضوئية (الحقيقية والتخيلية (الحجمية والسطحية)) كقيم وسطية منها:

$\bar{r}_V$,$\bar{a}_V$ $\bar{r}_w = \bar{r}_d$ $\bar{a}_w = \bar{a}_d$

أما وسطاء كمون هاتري (r_{HF}, a_{HF}) فتم إيجادها من المرجع [] وقيمها $a_{HF} = 0.62Fm$ و $r_{HF} = 1.263Fm$ وقيمة عزم هاتري-فوك الموافقة وفق العلاقة ($J_{HF}(E_F) = \frac{4\pi}{3}\frac{R_{HF}^3}{A}[1+\left(\frac{\pi a_{HF}}{R_{HF}}\right)^2]U_{HF}(E_F)$) تساوي :

$J_{HF}(E_F) = J_{HF} = 501.235$ $MeVFm^3$

4- تم ادخال تلك المعطيات:

β_2، ρ_2، ρ_w، E_F، E_0، V_{ls}، r_{ls}، a_{ls}، J_{HF} ، $\bar{r}_w = \bar{r}_d$; $\bar{a}_w = \bar{a}_d$ إلى ملف الدخل في البرنامج (VMA-SPI GENOA) وبمجال طاقي واسع ضمن المدروس وخارجه وبخطوة طاقية $\Delta E = 5MeV$.

5- تمَّ ربط البيانات من ملف الخرج (VMA-SPI) مع ملف الدخل (SPI) ليتم تصديرها إلى (SPI) ، والحصـــول على البيانات المتعلقة بمقاطع التفاعل (الكلية والتفاضـــلية) والعزوم من المرتبة الثانية بالنسبة لجزأي الكمون (الحقيقي والتخيلي (الحجمي والسطحي) .)

النتائج والمناقشة:

استناداً إلى ما تم اجراؤه من الخطوات أعلاه فقد تمَّ التوصل إلى ما يلي :

1 – التعيين المثالي للبارامترات الهندسـية(وسـطاء) للكمون الضـوئي التبددي للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ في المجال الطاقي المختار بخطوة طاقية $(\Delta E = 5MeV)$.

وتمَّ ادراجها ضمن الجدول (1):

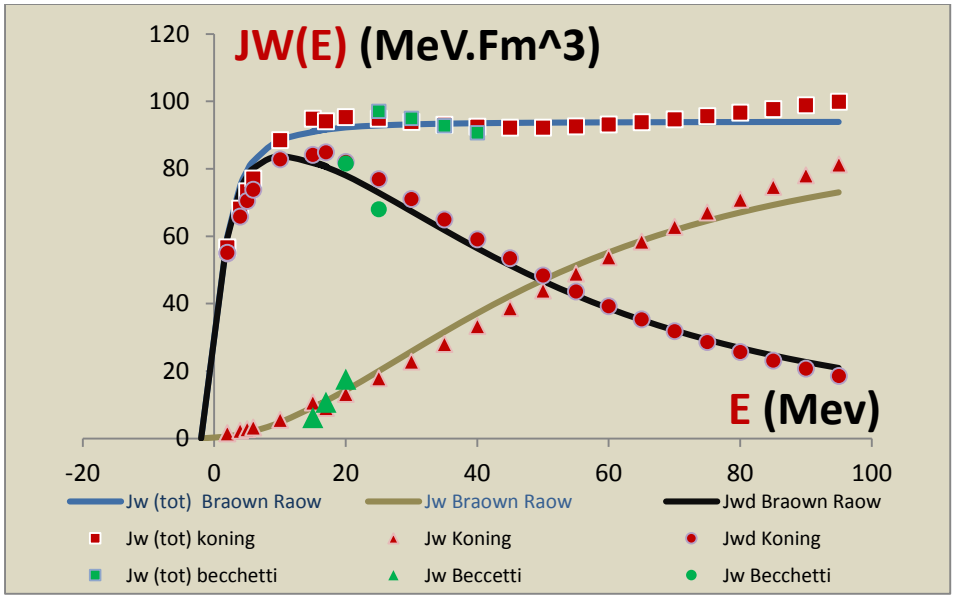
جـدول(1): الوســـطـــاء الهنـدســـيـــة للكمون الضـــوئي التبـددي للمنظومـة $(P, {}^{96}Rh)$

E (Mev)	V_v (Mev)	r_v (Fm)	a_v (Fm)	W_w (Mev)	r_w (Fm)	a_w (Fm)	W_d (Mev)	r_d (Fm)	a_d (Fm)
1.97	55.111	1.289	0.596	0.056	1.2	0.5	5.458	1.2	**0.5**
2	55.103	1.289	0.596	0.056	1.2	0.5	5.488	1.2	**0.5**
3.95	54.617	1.279	0.596	0.125	1.2	0.5	6.812	1.2	**0.5**
5	54.358	1.273	0.596	0.172	1.2	0.5	7.188	1.2	**0.5**
5.92	54.132	1.269	0.596	0.219	1.2	0.5	7.406	1.2	**0.5**
10	53.134	1.254	0.596	0.490	1.2	0.5	7.749	1.2	**0.5**
15	51.894	1.24	0.596	0.938	1.2	0.5	7.600	1.2	**0.5**
17	51.387	1.236	0.596	1.144	1.2	0.5	7.467	1.2	**0.5**
20	50.611	1.23	0.596	1.476	1.2	0.5	7.224	1.2	**0.5**
25	49.273	1.222	0.596	2.065	1.2	0.5	6.751	1.2	**0.5**
30	47.884	1.216	0.596	2.672	1.2	0.5	6.239	1.2	**0.5**
35	46.452	1.211	0.596	3.271	1.2	0.5	5.723	1.2	**0.5**

40	44.994	1.207	0.596	3.843	1.2	0.5	5.225	1.2	**0.5**
45	43.523	1.203	0.596	4.377	1.2	0.5	4.756	1.2	**0.5**
50	42.052	1.20	0.596	4.868	1.2	0.5	4.324	1.2	**0.5**
55	40.595	1.198	0.596	5.314	1.2	0.5	3.931	1.2	**0.5**
60	39.16	1.197	0.596	5.717	1.2	0.5	3.575	1.2	**0.5**
65	37.755	1.195	0.596	6.078	1.2	0.5	3.255	1.2	**0.5**
70	36.384	1.194	0.596	6.401	1.2	0.5	2.969	1.2	**0.5**
75	35.052	1.193	0.596	6.689	1.2	0.5	2.714	1.2	**0.5**
80	33.761	1.192	0.596	6.947	1.2	0.5	2.485	1.2	**0.5**
85	32.511	1.191	0.589	7.177	1.2	0.5	2.281	1.2	**0.5**
90	31.305	1.19	0.589	7.382	1.2	0.5	2.099	1.2	**0.5**
95	30.141	1.189	0.596	7.566	1.2	0.5	1.935	1.2	**0.5**
$V_{so} = 6.8$ (Mev)			r_{so}=1.2 (Fm)			a_{so}=0.6 (Fm)			r_c=0.6
				(Mev)					

كما هو ملاحظ من الجدول أعلاه أن مع ازدياد الطاقة فإن الجزء الحقيقي للكمون يتناقص وأيضاً يتناقص نصف القطر، يعزى ذلك إلى اقتراب الجسيمات المقذوفة (البروتونات) من الهدف و تبادلها التأثير مع عدد محدود من الجسيمات داخل النواة ، وأيضاً نلاحظ من الجدول أعلاه: أن مع ازدياد الطاقة فإن الكمون التخيلي الحجمي و نصف قطره يزداد مع ازدياد الطاقة بينما نجد أن التخيلي السطحي يزداد إلى أن يصل إلى قيمة عظمى ثم ينهار مع ازدياد الطاقة يعزى ذلك إلى المنافسة بين التأثيرات السطحية والحجمية .

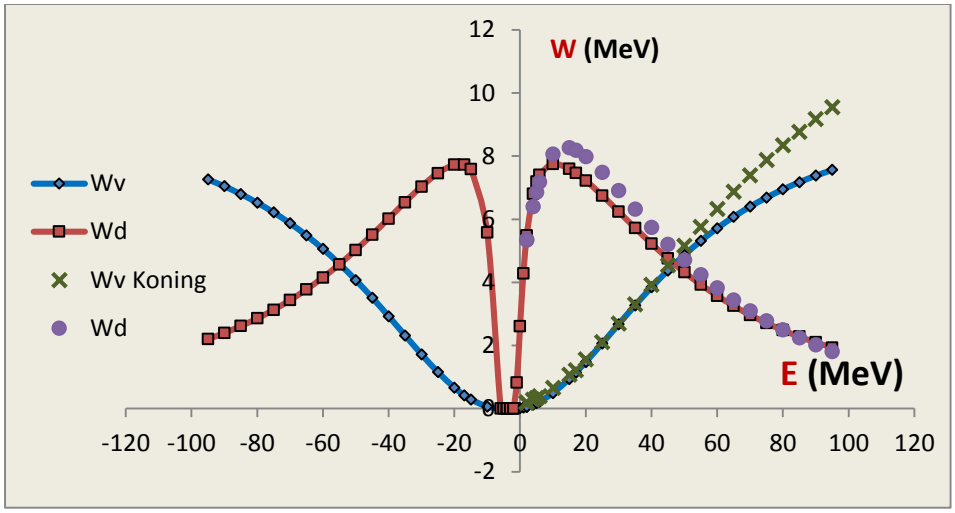
2- تقييم وتعيين العزوم من المرتبة الثانية بالنسبة للجزء التخيلي للكمون J_{w_w}(الحجمي J_w و السطحي J_d) باستخدام علاقة براون – راو (Brown–Row) وتم تمثيلها بيانياً بالشكل (1):



الشـــكل(1): التابعية الطاقية للتكاملات الكلية التخيلية J_{w_w} (الحجمية J_w والســـطحية J_d) للمنظومـة $(P, {}^{96}Rh)$ وفي المجـال الطـاقي المـدروس و مقـارنتهـا مع مثيلاتهـا المرجعية [20−21].

كما هو مبين من الشـــكل (1) التوافق والتطابق الجيد بين التكاملات الكلية التخيلية (الحجمية والسطحية) المحسوبة وفق (SPI) ومثيلاتها المرجعية [20−21].

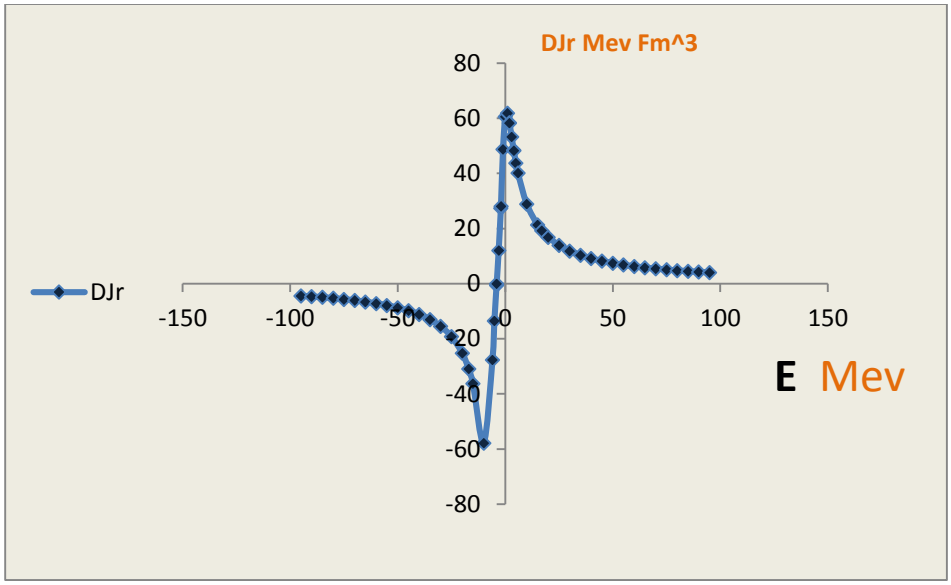
3− باستخدام الوسطاء الهندسية في الجدول (1) وبمساعدة البرنامج SPI فقد تم تعيين قيم التـأثيرات المتبـادلـة (الكمونـات التخيليـة (الحجميـة W_wوالســـطحيـة W_d) للمنظومة$(P, {}^{96}Rh)$ وفي المجال الطاقي المنخفض والمتوســـط المدروس وتم تمثيلها بيانيا من الشكل (2) .



الشكل(2): الدالة الطاقية لسلوك الكمونات التخيلية (الحجمية والسطحية) للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ ضمن المجال الطاقي المدروس ومقارنتها مع المرجعية [20].

نلاحظ من الشكل (2): الانحراف في السلوك للكمونات بتابعيتها للطاقة خاصة بالقرب من عتبة التفاعل في المجال الطاقي المنخفض و يعزى ذلك إلى المشاركة الفعالة لجميع قنوات التفاعل (وخاصة الامتصاص) في التفاعل بالقرب من طاقة الحاجز الكولوني [3]

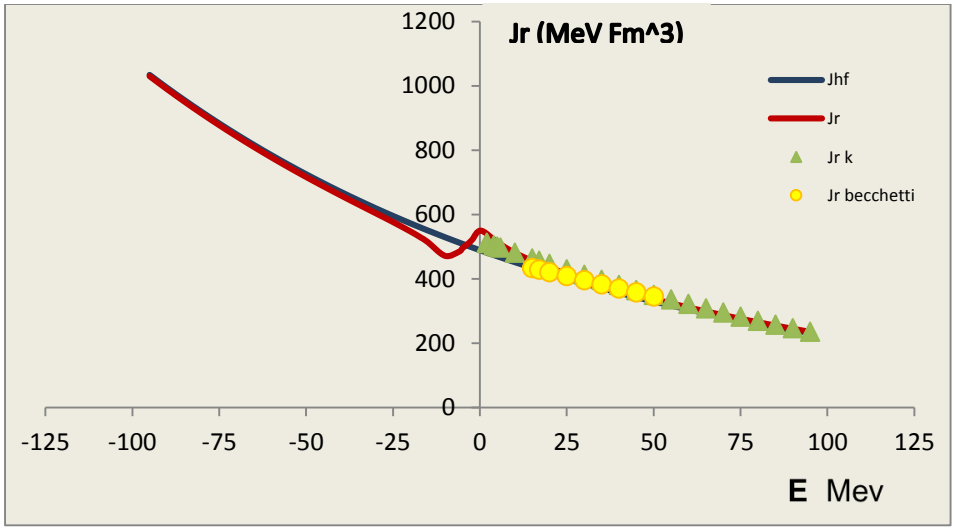
4- تحديد المشاركة التبددية عبر التفاعل الحجمي للكمون التبددي ΔJ_r بمساعدة البرنامج (VMA-SPI) المدمج مع (SPI)، فقد تمَّ تعيين (حسابياً) قيم التكاملات الحجمية التبددية للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ وضمن المجال الطاقي المحدد.



الشـكل (3) : الدالة الطاقية لسـلوك التكاملات الحجمية للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ وضـمن المجال الطاقي المدروس.

ويظهر من الشـكل (3) سـلوكاً متماثلاً في مجال الطاقات الموجبة والسـالبة القريب من الحاجز الكولوني للأسباب المذكورة أعلاه.

5- الدالة الطاقية لسلوك التكاملات الحجمية J_r (الحقيقية) وهاتري فوك J_{HF} للمنظومة المدروسة ضمن المجال الطاقي المدروس . ثمَّ باستخدام الجدول (1) (الوسطاء الهندسية للكمون الضـوئي التبددي) وبمسـاعدة البرنامج (VMA-SPI) تم إيجاد القيم العددية للتكاملات الحجمية للكمون الحقيقي ولهاتري-فوك للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ وفي المجال الطاقي المختار وأيضـاً في المجال السـالب (الحالات المترابطة) وتمَّ تمثيلها بيانياً في الشكل (4).



الشـكل(4):الدالة الطاقية للتكاملات الحجمية بالنسـبة للكمون الحقيقي وأيضـاً بالنسـبة لكمون (هـاتري–فوك) للمنظومـة المـدروسـة $(P + {}^{96}Rh)$ في المجـال الطـاقي $(-80 \leq E_p \leq +80)$ وتمَّ مقارنتها مع مثيلاتها المرجعية [20–21].

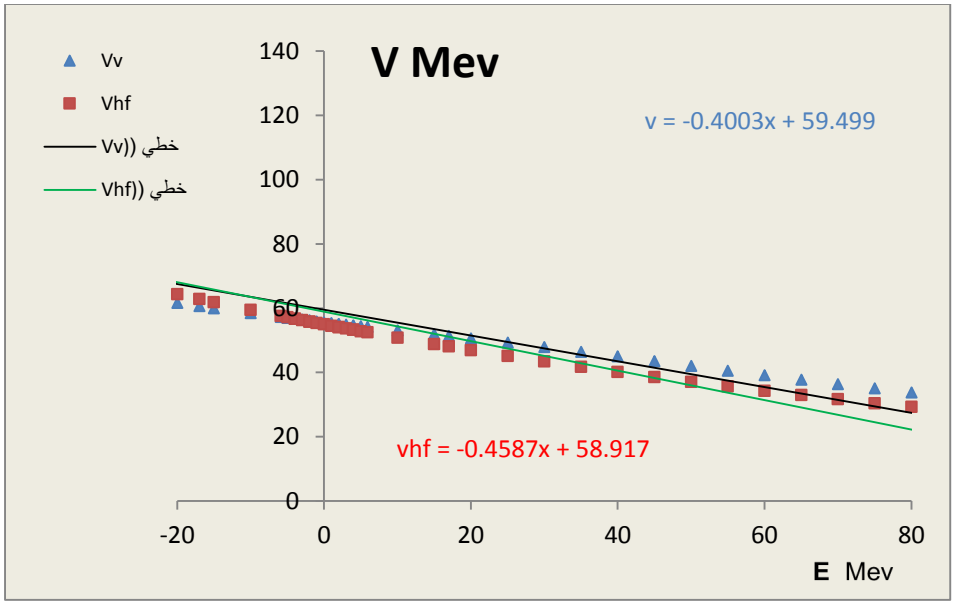
نلاحظ من الشكل التوافق الجيد ل (J_r) المحسوب وفق (VMA) ومع مثيلاتها المرجعية وكما نلاحظ كما هو مبين من الشكل نلاحظ من المنحني الأول سلوكاً متميزاً بالقرب من الحاجز الكولوني حيث تبدي التابعية $J_r(E)$ تغيراً ملحوظاً بسـلوكه حيث يأخذ قيمة عظمى بالقرب من طاقة الحاجز الكولوني يدعى هذا التغير بالانحراف العتبي (الشذوذ) نتيجة كما ذكرنا لمشـاركة عدد كبير من القنوات في التفاعل (التفاعل المرن والتفاعل اللامرن والامتصـاص) ، بعدها يتناقص مع ازدياد الطاقة لكونه يقتصـر على قناة او قناتين للتفاعل المرن واللامرن .

أما في الطاقة السالبة فتظهر لنا السويات الطاقية (سوية فيرمي E_F والسويات الأعلى منها E_F^+ والسـويات الأخفض منها E_F^-) وانشـغالها بالنيوكليونات (البروتونات)، وهذه السـويات حددت بعلاقة رياضـية محددة وقيمها وجد بأنها تتوافق مع مثيلاتها المرجعية ،فمن أجل طاقة فيرمي يلاحظ تقاطع وتلاقي (1) مع (2) ويشـير بذلك إلى عدم حدوث

أية عملية من عمليات التفاعل ، أما من أجل الطاقة E_0^+ المقابلة للســـويات الأعلى من ســـوية فيرمي الفارغة أو المشـــغولة جزئياً فيلاحظ بوجود قيم للعزوم ويعزى ذلك لوجود عمليات امتصاص وتفاعلات وأيضاً يحدث من أجل E_0^- (المقابلة للسويات الأحفض من سـوية فيرمي (الممتلئة) نلاحظ بوجود أيضـاً قيم للعزوم ويعزى ذلك لنفس السـبب أعلاه (طبعاً هنا تمثل حالة وصـــفية للنموذج الطبقي والمتحيز لكمون حقيقي فقط، وهنا يظهر الدور الذي يلعبه النموذج الضـــوئي حيث يظهر البيانات الخاصـــة بالطاقات الموجبة والسالبة ويربط بينها من خلال كمون (لكمون من حدين حقيقي وتخيلي).

6- الدالة الطاقية لسلوك الكمون الضـوئي (الحقيقي V_V وهاتري-فوك)للمنظومة ضـمن المجال المدروس (المخنفض والمتوسط) وخارجه .

بالاستفادة والاستعانة بالجدول(1) وتحديداً قيم للكمونات (الحقيقي والتخيلي) بدلالة الطاقة الناتجـة من ملفي الخرج للكودين (VMA-SPI) و (SPI-Genoa) فقد تم تمثيلها بيانياً كما هو في الكل (6):



الشكل (6) : الدالة الطاقية للكمون البروتوني الضوئي V_V وهاتري–فوك V_{HF} للمنظومة المدروسة $(P, {}^{96}Rh)$ وضمن المجال الطاقي المدروس

نلاحظ من الشـــكل لتباعد بين الكمونين ويعود ذلك إلى الإضـــافة التبددية في الكمون الحقيقي والتقائهما عند طاقة فيرمي والسـبب يعود إلى ما تم ذكره أعلاه ويلاحظ أيضـاً التوافق الجيد لقيم تلك المنحنيات المحســـوبة وفق برنامج (VMA–SPI) مع مثيلاتها المرجعية وانحرافها (ابتعادها) قليلاً في بعض القيم الطاقية ويعود ذلك إلى الطريقة المتبعة في بعض المراجع وحساسية بارامتراتها لذلك .

أيضاً يلاحظ من الشكل (6) السلوك الخطي للكمونين – الكمون التبددي الخطي وكمون هاتري–فوك و التعبير عنهما بعلاقتين رياضيتين كما في الصيغة التالية:

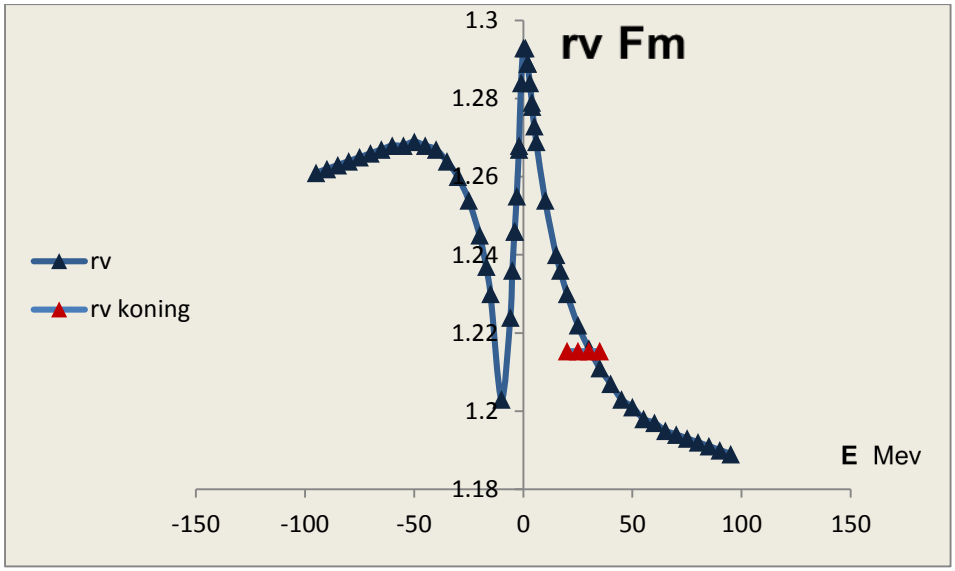
$$V_V = -0.4003E + 59.499 \qquad (1)$$

$$V_{HF} = -0.4587E + 58.917 \qquad (2)$$

يمكن من خلال هاتين العلاقتين تحديد وتوصـــيف شـــكل الكمونات من أجل كل خطوة طاقية ضمن المجال الطاقي المدروس وخارجه.

7- الدالة الطاقية لنصف قطر الكموني البروتوني الضوئي للمنظومة المدروسة $(P, {}^{96}Rh)$ وضمن المجال الطاقي المحدد ومثيلاتها المرجعية [20].

تمَّ وبالاعتماد على طريقة (VMA) ومن النتائج الواردة في الجدول (1) تمثيل القيم العددية لأنصاف أقطار الكمون البروتوني الضوئي المحسوبة باستخدام الكودين (VMA-SPI) ، (SPI) للمنظومة المدروسة بيانياً في الشكل (7) المبين :



الشكل(8): الدالة الطاقية لنصف قطر الكمون البروتوني الضوئي للمنظومة المدروسة $(P, {}^{96}Rh)$ وضمن المجال الطاقي المدروس وخارجه ومثيلاتها المرجعية [20] ، بالإضافة إلى مثيلاتها من نتائج التحليل المراجع[20].

وكما هو مبين من المنحني البياني السلوك المرافق والمماثل للكمون، حيث يظهر لدينا في مجال الطاقات المنخفضة تزايداً مع ازدياد الطاقة إلى الوصول قيمة عظمى المقابلة لطاقة الحاجز الكولوني وانخفاضاً بعدها بازدياد الطاقة ، ويعزى ذلك إلى أن بالقرب من الحاجز الكولوني يطرأ تغيراً ملحوظاً بسلوكه مايعرف بظاهرة شذوذ العتبة .كما أشرنا إليه

أعلاه نتيجة للمشـــاركة الفعالة لجميع قنوات التفاعل (التفاعل المرن و اللامرن والامتصـــاص) بعدها تقتصـــر المشـــاركة إلى قناة أو قناتين على الأكثر ، وهذا الظهور لظاهرة الشذوذ نتيجة الإضافة التبددية في الكمون الضوئي .

أيضـــاً من الشـــكل يلاحظ التوافق الجيد مع بعض قيم المرجع[20] من أجل نفس قيم الطاقة واختلافها عن القيم والســـبب لأن المرجع [20] اعتبر أن أنصـــاف الأقطار غير تابعة للطاقة ، أيضاً يلاحظ التوافق الجيد مع نتائج التي قمنا من تحليل البيانات الخاصة بأنصاف الأقطار المراجع [20].

أيضاً يلاحظ السلوك المماثل والمناظر للمنحني البياني في مجال الطاقات السالبة

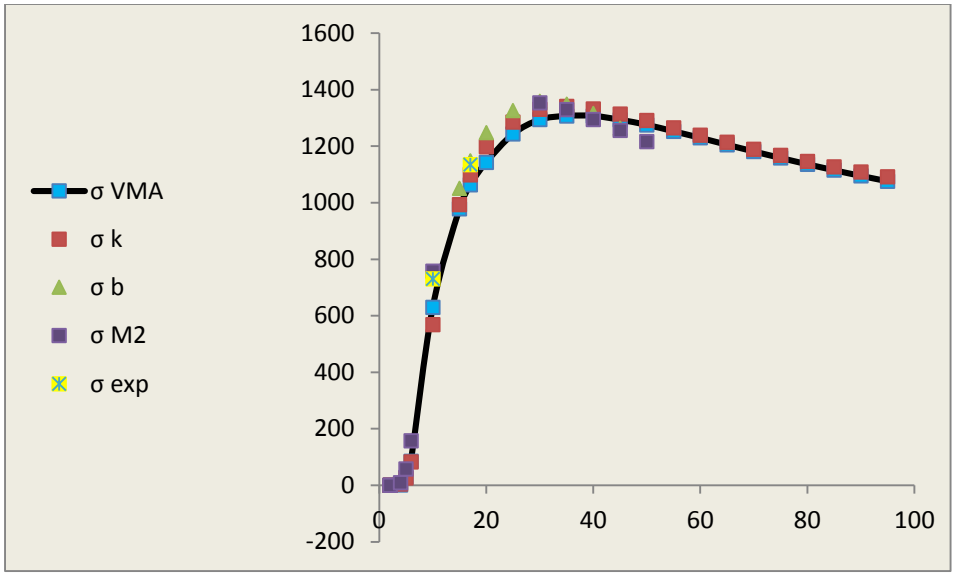
ولكن بشـــكل مقلوب وهو يعكس عمق الحفرة الكمونية في تلك المنطقة حتى يصـــل إلى أخفض قيمة مقابلة لقيمة طاقة فيرمي و من ثم يزداد بازدياد الطاقة ويعزى إلى الظهور النشط لقنوات الامتصاص في تلك المناطق الطاقية.

8- الدالة الطاقية لســـلوك مقاطع التفاعل للمنظومة $(P, {}^{96}Rh)$ في المجال الطاقي المعين وخارجه و مثيلاتها المرجعية [22-21-20] ومن نتائج تحليل مقاطع التفاعل المرجعية والمعالجة بالبرنامج SPI

باســتخدام الجدول (1) والمعالجة البرمجية باســتخدام الكودين (VMA-SPI) و (SPI) عبر ملفاتها الدخل والخرج . فقد تم التوصـــل إلى القيم العددية لمقاطع التفاعل بعد حل معادلة شرودنغر الموجية ضمن الكود SPI وتم وضعها في الجدول (2):

جدول (2) يُبين مقارنة بين قيم مقاطع التفاعل ($(P + {}^{96}_{45}Rh_{51})$						
E (MeV)	σ Koning (mb)	σ Becchitte (mb)	σ Menet el al (mb)	σ exp (mb)	σ spi (mb)	σ VMA (mb)
1.97	0.001013	–	0.0019638	–	–	0.001263
2	0.001245	–	0.0014787	–	–	0.001548
3.95	4.07021	–	9.24712	–	–	0.64859
5	26.6314	–	57.6771	–	–	28.6992
5.92	83.8478	–	156.851	–	–	84.7009
10	649.068	–	769.083	730	713.603	629.296
15	1008.66	1050.6	1153.11	–	–	978.558
17	1098.59	1147.89	1242.59	1135	1170.67	1063.43
20	1188.81	1247.36	1310.83	–	–	1142.95
25	1281.34	1325.62	1349.13	–	–	1243.05
30	1328.45	1358.94	1352.29	–	1323.44	1293.83
35	1336.02	1348.92	1328.01	–	–	1307.04
40	1329.86	1315.58	1293.22	–	–	1307.26
45	1311.87	1264.18	1254.85	–	–	1293.43
50	1288.2	1198.89	1216.11	–	1284.08	1275.47
55	1263.37	–	1179.17	–	–	1252.66
60	1238.3	–	1145.06	–	1230.46	1229.36
65	1213.39	–	1114.46	–	–	1204.99
70	1189.54	–	1087.08	–	1187.66	1181.28
75	1167.03	–	1064.89	–	–	1158.23
80	1146.01	–	1045.46	–	1148.72	1136.02
85	1126.58	–	1031.78	–	–	1114.85
90	1108.6	–	1021.65	–	–	1094.79
95	1092.01	–	1015.95	–	–	1075.76

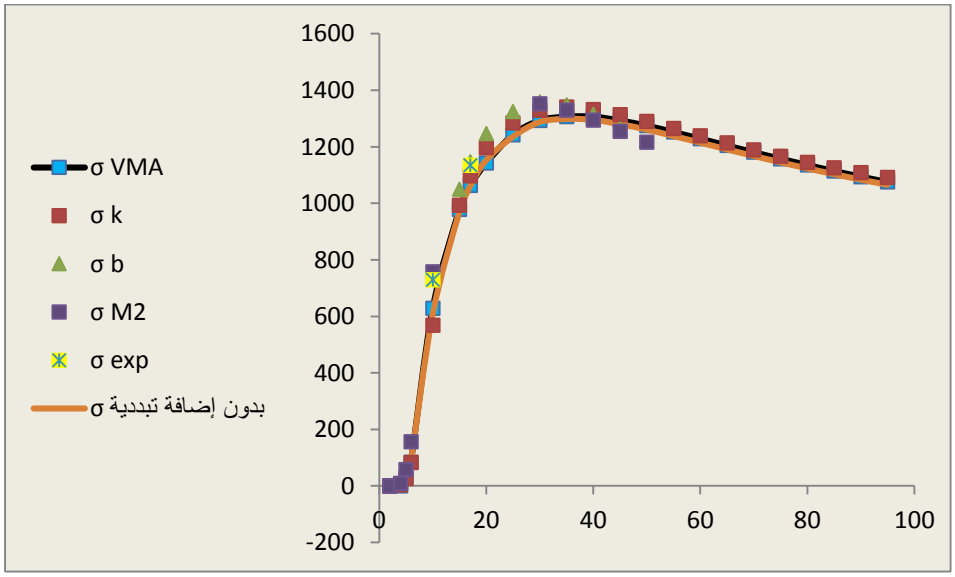
وتمثيلها بيانياً في الشكل (8) :



الشـــكل(8): الدالة الطاقية لمقاطع التفاعل $(P + {}^{96}Rh)$ في المجال الطاقي المحدد وخارجه وقيم مثيلاتها المرجعية [22–21–20] ومن تحليلاتنا يظهر الشـكل (8) سـلوكاً مميزاً لمقاطع تفاعل البروتونات المقذوفة بطاقات منخفضة ومتوسطة بوساطة نواة الهدف (^{96}Rh) ،حيث وكما نلاحظ من الشـــكل أن مع ازدياد الطاقة (طاقة المقذوف) ، أي مع تسـريعه عبر مسـرعات خاصـة إلى طاقات محددة فإن مقاطع التفاعل سـتزداد كما هو واضـح إلى الوصـول إلى قيمة معينة مقابلة لطاقة محدودة، ثم يحافظ على قيمة ثابتة مع ازدياد الطاقة . ويعزى ذلك للمشـاركة الفعَّالة لمراكز التبعثر التي تعترض مسـار الحزمة المسـرعة من البروتونات. فكلما ازدادت طاقة التسـريع كلما اقترب أكثر من نواة الهدف وانخفض أيضاً نصف قطر التأثير المتبادل وهذا واضح من الشكل (7).

نلاحظ التوافق الجيد والمثالي مع مثيلاتها المرجعية [22–21–20] ضـــمن مجالات طاقية معينة ومع تحليلاتنا المنهجية لقيمها من المراجع [22] ، ويلاحظ ابتعادها عن بعض المراجع والسـبب يعود لكون بعض المراجع اعتمدت طريقة مغايرة جداً عن طريق (VMA) من حيث إيجادها للبارامترات الهندسية للكمون الضوئي.

إن هذا التوافق الجيد لقيم مقاطع التفاعل بدلالة الطاقة وفق الطريقة المتبعة (VMA) مع البيانات سواء التجريبية أو التمثيلات الوسيطية لبارامترات الكمون الضوئي يعكس بالدرجة الأولى الدقة في تحديد البارامترات الهندسية للكمون الضوئي والذي أدى بدوره إلى خلق كل آخر (استنباط) للكمون منسجم إلى حد كبير جداً مع كينونته لخط الاقتراب الفعلي للبروتونات المقذوفة من نواة الهدف (وهذا كما قلنا سابقاً عائداً إلى أثر الإضافة التبددية المنطوية ضمن جوهر طريقة (VMA) ولدى غيابها (غياب الإضافة التبددية) رأينا ابتعاداً كبيراً عن القيم العددية لمقاطع التفاعل المحسوبة باستخدام (VMA–SPI) و تراجعاً حاداً لسلوكها عن مثيلاتها المرجعية والشكل (9) يبين ذلك والجدول (3) أيضاً يوضح ذلك



الشكل(9) الدالة الطاقية لمقاطع التفاعل $(P + {}^{96}Rh)$ في مجال الطاقات المنخفضة والمتوسطة مع مثيلاتها المرجعية [20–21–22] وبدون إضافة تبددية

الجدول (3):

جدول (3) يبين مقدار ونسبة تأثير الإضافة التبددية على مقطع العرضي ل $^{96}_{45}Rh_{51}$

E (MeV)	المقطع مع إضافة تبددية	المقطع بدون إضافة تبددية	قيمة الإضافة	نسبة الإضافة %
1.97	0.001263	0.003567	-0.0023	-182.463
2	0.001548	0.00167362	-0.00013	-8.08427
3.95	0.64859	5.28691	-4.63832	-715.139
5	28.6992	31.3628	-2.6636	-9.28109
5.92	84.7009	87.1619	-2.461	-2.90552
10	629.296	607.843	21.453	3.409048
15	978.558	969.999	8.559	0.874654
17	1063.43	1060.47	2.96	0.278345
20	1142.95	1151.95	-9	-0.78744
25	1243.05	1235.49	7.56	0.608181
30	1293.83	1287.38	6.45	0.49852
35	1307.04	1298.39	8.65	0.661801
40	1307.26	1294.99	12.27	0.938604
45	1293.43	1279.82	13.61	1.052241
50	1275.47	1260.64	14.83	1.162709
55	1252.66	1237.71	14.95	1.19346
60	1229.36	1214.47	14.89	1.211199
65	1204.99	1190.45	14.54	1.206649
70	1181.28	1167.25	14.03	1.187695
75	1158.23	1144.84	13.39	1.156074
80	1136.02	1123.34	12.68	1.116178
85	1114.85	1102.89	11.96	1.07279
90	1094.79	1083.53	11.26	1.028508
95	1075.76	1065.19	10.57	0.982561

الاستنتاجات والتوصيات:

(1)- من تحليل البيانات المتعلقة بمقاطع التفاعل التجريبية والنظرية للمنظومة $(P + {}^{96}Rh)$ في المجال الطاقي المدروس باستخدام الكود (SPI)، تمَّ التوصل إلى

مجموعة من البارامترات الهندســـية للكمون الضـــوئي ، الذي تمَّ اعتبارها كتقريب أولي للبارامترات الهندسية التي نسعى لإيجادها.

(2)- وجدنا ووفقاً لتقنية طريقة (VMA) النموذج الضوئي التبددي المبنية على العلاقة التبـددية وبعـد حلهـا التحليلي والعـددي من خـلال علاقـة (براون- براو) فقـد تمَّ إيجـاد الوسطاء الهندسية ل (VMA) وهي:

$$\beta_2 = 94 MeV\ Fm^3 \qquad \rho_2 = 52 MeV \qquad \rho_w = 3 MeV$$
$$E_F = 3.95 MeV \qquad E_0 = 1.97 MeV \qquad J_{HF} = 501.235\ MeV\ Fm^3$$

(3)- تمَّ وباســـتخدام طريقة (VMA) والبرنامج (SPI-VMA) معالجة البيانات الناتجة والتوصـــل إلى القيمة العددية للعزوم من المرتبة الثانية (التكاملات الحجمية) بالنســـبة للجزء الحقيقي والتخيلي للكمون الضوئي ومنها على سبيل المثال:

$$J_r(E_k) = 337.56 \quad MeVFm^3$$
$$J_{w_w} = 46.973 \quad MeVFm^3$$
$$J_{w_d} = 46.715 \quad MeVFm^3$$

حيث أظهرت قيمها العددية توافقاً جيداً مع مثيلاتها المرجعية وسلوكاً مميزاً بالنسبة للطاقة وخاصـــة في المجال الطاقي المنخفض ، إذ يبدي المنحني الخاص بتابعية العزوم للطاقة شذوذاً في سلوكه بالقرب من عتبة التفاعل، نتيجة للمشاركة الفعَّالة لجميع قنوات التفاعل (مثل التفاعل المرن والتفاعل اللامرن والامتصـاص)، وهذه الظاهرة تعرف بظاهرة شـذوذ العتبة ، وهي نتيجة للإضافة التبددية في الكمون الضوئي التبددي.

(4)- تم إيجاد شـكل الكمونات المدروسـة بالنسـبة للجزء التخيلي (الحجمي والسـطحي) والحقيقي للمنظومة المدروســـة $(P + {}^{96}Rh)$ في المجال الطاقي المدروس وكانت ذات

دقة عالية من التحديد وظهرت تطابق مقاطع التفاعل الحسابية مع مثيلاتها التجريبية وكمون (هاتري–فوك) وتمَّ التوصل إلى العلاقتين التاليتين للكمون الحقيقي:

$$V_V = -0.4003E + 59.499 \quad (1)$$

$$V_{HF} = 0.4587E + 58.917 \quad (2)$$

يمكن من خلال هاتين العلاقتين إيجاد قيمة الكمون وعند كل خطوة طاقية أو فاصلة طاقية .

(5)– تمَّ أيضاً تحديد القيمة العددية لأنصاف أقطار الكمونات للمنظومة المدروسة ($P, ^{96}Rh$) وضمن المجال الطاقي المختار ووجدنا أن سلوكها يتباين مع الطاقة ويعزى ذلك إلى الإضافة التبددية التي أظهرت ذلك، بينما نجد أن ذلك غير وارد في التمثيلات الوسيطية الشاملة لبارامترات الكمون الضوئي.

(6)– تم تحديد القيم العددية لمقاطع التفاعل للمنظومة ($P + ^{96}Rh$) وضمن المجال الطاقي المدروس وخارجه ، وتبين توافقها بشكل جيد مع مثيلاتها التجريبية و التمثيلات الوسيطية الشاملة . ويعزى هذا التوافق والتطابق أيضاً إلى الأضافة التبددية في الكمون الضوئي ولدقة عمل البارامترات الهندسية للكمون الضوئي.

(7)– حددنا أبعاد المنطقة الإشعاعية (الوسطاء الهندسية للكمون الضوئي) ، التي تحدث فيها عمليات التأثيرات المتبادلة بين الجسيمات المقذوفة ونواة الهدف من خلال المعالجة لتلك العمليات باستخدام الكودين البرنامجين (VMA–SPI)، (SPI).

(8)– حددنا قيمة نسبة المشاركة التبددية الفعَّالة بدلالة الطاقة ، حيث تبين أن قيمتها تتراوح في المجال الطاقي المنخفض (5–10 MeV) وفي المجال الطاقي المتوسط (10–80 MeV).

التوصيات:

(1)- توسيع الدراسة لتشمل مجالات طاقية أعلى و نوى أهداف العناصر المختلفة .

(2)- أرشـــفة النتائج التي تمَّ التوصـــل إليها في قاعدة بيانات تكون مرجعاً للدراســـات البحثية القادمة و المستقبلية.

المراجع:

[1]– MAHAUX . C, SARTOR . R , 1991, Nucl . Phys .V. 528.P. 253.

[2]– أنيس بلال – محاضـــرات الفيزياء النووية 2–الســـنة الرابعة فيزياء– جامعة البعث،كلية العلوم–قسم الفيزياء(2025–2015).

[3]-MAHAUX . C, BORTINGNON P.F, 1985 -Dynamics of the shell model. Phys. Rep, V.120 , p.p.1- 274.

[4] - MAHAUX . C, SARTOR . R ,1989 , Nucl . Phys .V. 503, P.525.

[5]-Molhum Ussef, & Anis Belal. (2020). Study of the dispersive contribution effect for neutrons scattering with energy(60 ≤ En ≤ 80)MeV, Nuclear Science, Science PG, Vol.5,Issue Number 4,December 2020.

[6]- HODGSON . P. E , 1991- The Dispersive Optical Model, OUNP, 91-11, p.p.1- 7.

[7]- GURBICH . A . F, LIONEV. A , 1983- Analysis Proton Optical - Model potential near the coulomb barrier, bninsk – USSR.

[8]-اســـتخدام النموذج الضـــوئي التبددي لدراســـة تبعثر البروتونات المقذوفة بطاقة $10 \leq E_p \leq 50\ Mev$ على نواة الهدف ^{57}Fe .مجلد 40 جامعة البعث.

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

[10]- Hodgson, P. E. (1990). The unification of the nuclear optical potential, Contemporary Physics, 31: 5, 295-308, DOI: 10.1080/00107519008213780.

[11] KONING. A, HILAIRE. S, GORIELY. S, 2015- TALYS-1.8, A nuclear reaction program, User Manual. First edition. NRG Petten, the Netherlands and CEA 45679599-leCha=el, France, 41-533p.

[12] Koning, A. J., & Delaroche, J. P. (2003). Nucl. Phys. A713, 231.

[13]- معروف، إبراهيم، أنيس بلال،(2023) ، تحديد نسبة المساهمة التبددية في المقاطع العرضية والكمونات النووية للتفاعل 112Cd(n,n)112Cd بطاقة قذف $80 \leq E_n \leq 100\ Mev$ باستخدام طريقة VMA. المجلد 45.

[14] IAEA, (2006). Handbook for Calculations of Nuclear Reaction Data, RIPL-2, IAEA in Austria, (Final report of a coordinated research project, IAEATECDOC-1506), pp. 47- 69.

[15] Al-Mustafa, H., & Belal, A. (2019). A Dispersive Optical Model Analysis of the Protons Scattering by Titanium Element Nucleus and Its Natural Isotopes. *Nuclear Science*, *6*(1), 44-51.

[16] مرح علي. (2023). تحديد البارامترات الهندسية للكمون الضوئي بطريقة VMAللمنظومة .(n+ (_26^ 54)[Fe] _28) *مجلة جامعة البعث-سلسلة العلوم الأساسية*.(5)*45* ,

[17]-Bear, K., & Hodgson, P. E. (1978). The systematics of nuclear bound states. *Journal of Physics G: Nuclear Physics*, *4*(12), L287.

[18]-KONING A.J. AND D. ROCHMAN,2011- Nuclear Research and Consultancy Group (NRG) Petten, The Netherlands. Release date: December 29.

[19]P.G. Young, Los Alamos National Laboratory-(1994), Experience at los alamos with use of the optical model for applied nucleia data calculations, (report la-ur-94-3104).

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

[21]-Perey, C. M., & Perey, F. G. (1976). Compilation of phenomenological optical-model parameters 1954–1975. Atomic data and nuclear data tables, 17(1), 1-101.

[22] Perey, F. G. (1963). Optical-model analysis of proton elastic scattering in the range of 9 to 22 MeV. Physical Review, 131(2), 745.