Effect study of space configuration on the nuclear structure of nucleus ^{30}P by applying nuclear shell model

دراسة تأثير ترتيب الفضاء على التركيب النووي لنواة ^{30}P بتطبيق أنموذج القشرة النووي

علي خلف حسن و فاطمة حميد عبيد
جامعة الكوفة /كلية التربية للبنات /قسم الفيزياء

الخلاصة

تم حساب مستويات الطاقة لنواة الفسفور ^{30}P باستخدام جهد دلتا السطحي في كلا الترتيبين المختلط والنقي وبعد مقارنة نتائج البحث مع النتائج العملية وجد تطابقا مقبولا لمستويات الطاقة الواطئة في حالة الترتيب النقي إما في مستويات الطاقة العليا وجد توافقا جيد مع مستويات الطاقة في حالة الترتيب المختلط ولوحظ أيضا تأثير نوع النيوكليون على طيف الطاقة يظهر في الحسابات من خلال قيمة طاقة الجسيمة المفردة للبروتون والنيوترون .

Abstract

Surface Delta Interaction(SDI) have been used to calculate the energy levels of phosphorus nucleus ^{30}P in both configurations mixed and pure. an over all agreement with experimental data is obtain for the low energy level in pure configuration in this work .Also the result of high level agree very well with mixed configuration.

المقدمة :- (Introduction)

يعد فهم التركيب النووي (Nuclear Structure) من الأهداف الرئيسة في الفيزياء النووية ،ونظراً لغياب النظرية الشاملة والمترابطة للتركيب النووي فقد جرت محاولات متعددة لربط المعطيات النووية بعدد من النماذج النووية المختلفة ، التي استخدمت الأسس الفيزيائية المهمة كقاعدة أساسية لها للحصول على التركيب الدقيق للنوى [1].

وقد نال التركيب النووي اهتمام الكثير من الباحثين إذا أجروا العديد من الدراسات التي أظهرت نماذج نووية تهدف إلى تفسير تركيب وخصائص النوى ويعد أنموذج القشرة النووي احد النماذج المهمة التي تصف تركيب النواة[2]، حيث إن أهمية أنموذج القشرة النووي تتمثل في قدرته على إعطاء تتابع تقريبي صحيح ودقيق لمستويات الطاقة التي يمكن إن توجد فيها النيوكليونات ذات القيم المختلفة من الزخم الزاوي المداري [3]، كما ويصف أنموذج القشرة نظام الجسيمات المتفاعلة في حدود حركة الجسيمات المستقلة في جهد مركزي ، التي تبين بعض تركيب القشرة (Shell Structure) [4]، تقدم أنموذج القشرة النووي لفشل النماذج الأخرى في استنتاج طاقة الترابط التي كانت أكثر المعلومات اتساعاً في ذلك الوقت واتسعت حسابات أنموذج القشرة وشملت مختلف جوانب النوى[5] ، ونجاح هذا الأنموذج شجع عدد من الباحثين إلى استخدامه وبنجاح كبير مع جهد دلتا السطحي في عدد من الدراسات حيث استخدم في تحليل خصائص بعض نوى القشرة المغلقة [6]، كما واستخدم في حساب قيم مستويات الطاقة (المستويات الاهتزازية لرباعي القطب) لنوى القشرة المفتوحة المضاعفة[7]، وكذلك فقد تميز في دراسة الانتقالات الواطئة في الطاقة لبعض العناصر[8].

في هذا البحث فقد تم استخدام برنامج حاسوب (Matlab-2009) لحساب قيم عنصر المصفوفة باستخدام جهد دلتا السطحي و حساب القيم الذاتية للترتيب المختلط لنواة ^{30}P.

النظرية :- **(Theory)**

يعدّ التأثير المتبادل المتبقي بين نيوكليونين جزء من التفاعل الذي لا يتضمن معدل الجهد المركزي ويمثل القوة الناتجة من التصادم بين النيوكليونات [9] ، والسماح للتأثير المتبادل بين النيوكليونات يزيل الانحلال في المستويات التي تمثل خاصية من خواص أنموذج القشرة لذلك فان التأثير سوف يلغي أنموذج الجسيمة المستقلة البسيط [4, 10]، ويسبب التأثير المتبادل حدوث اضطراب في مؤثر هاملتون الذي يمثل بجهد طاقة النيوكليونات ويساوي حاصل جمع جهد جسيمتين ويوصف بـ $\sum_{i<j} Vij$ وبحسب هذا يستخرج هاملتون للحالة المضطربة بالمعادلة الآتية [11, 12] :-

$$H' = \sum \left(H_{\circ}\right)_n + \sum_{i<j} Vij \qquad \text{..... (1)}$$

ونتيجة للتصادمات بين النيوكليونات فأن طاقة الجسيمة التي تتحرك في مدار مستقر (Stable-Orbit) سوف تتغير بمرور الوقت وتحتل مستويات قريبة أخرى فالتأثير المتبادل هو مزج (خلط) مستويات الجسيمة المفردة المختلفة الذي ينتج عنه الترتيب المختلط (Configuration Mixing) [5].

بحسب مبدأ باولي للاستبعاد تكون أغلب التصادمات المرنة في داخل النواة ممنوعة لذلك فأن النيوكليونات تتحرك بصورة مستقلة بعضها عن بعض في داخل النواة و يحدث التفاعل المؤثر بين النيوكليونات بصورة رئيسة عند السطح النووي فقط، وباستعمال هذه الفرضية فأن كل من Green, Moszkoski فرضوا أنموذج بسيط لوصف التفاعل بين النيوكليونات المكافئة عند السطح النووي وهذا التفاعل يدعى بجهد دلتا السطحي (Surface Delta Interaction)، وأحيانا يعرف بتفاعل المدى الصفري(Zero–Range Interaction) ، وهذا يعني أن التفاعل المتبقي يمكن إن يقرب بواسطة جهد دلتا السطحي على وفق المعادلة الآتية [9] :-

$$V_{ij} = -4\pi V_{\circ}\,\delta\left(\Omega_{ij}\right) \qquad \text{..... (2)}$$

إذ إن Ω_{ij} تمثل المسافة الزاوية بين الجسيمات المتفاعلة حيث إن $\Omega_{ij} = r_i - r_j$

$V_{\circ}$ تمثل قوة التفاعل ، r_i, r_j تمثل إحداثيات النيوكليون

إن الطاقة الكلية للحالةj نسبة للقشرة المغلقة تعطى بالمعادلة الآتية [12]:-

$$\left\langle \left| jjJM \right\rangle | H) | \left| jjJM \right\rangle \right\rangle = 2\varepsilon_j + \left\langle \left| jj\ JM \right\rangle | V | \left| jj\ JM \right\rangle \right\rangle \qquad \text{..... (3)}$$

حيث إن (ε_j) تمثل طاقة الجسيمة المفردة نسبة إلى القشرة المغلقة (Closed Core)

وان $\left\langle j_1 j_2 \left| V_{(1,2)} \right| j_1 j_2 \right\rangle$ تمثل الطاقة الناتجة عن التأثير المتبادل(Interaction Energy)(طاقة التفاعل لجسيمتين بزخم زاوي كلي J).

يعبر عن عنصر المصفوفة الهامتلوني H وحسب الجسيمات في الغلاف الخارجي (خارج القشرة المغلقة) وترتيب الحالة j بالمعادلات الآتية[12]:-

$$\left\langle H \right\rangle_{11} = \varepsilon_{j1} + \varepsilon_{j_2} + \left\langle j_1 j_2 \left| V_{(1,2)} \right| j_1 j_2 \right\rangle_J \qquad \text{..... (4)}$$

$$\left\langle H \right\rangle_{22} = \varepsilon_{j3} + \varepsilon_{j_4} + \left\langle j_3 j_4 \left| V_{(1,2)} \right| j_3 j_4 \right\rangle_J \qquad \text{..... (5)}$$

$$\left\langle H \right\rangle_{12} = \left\langle H \right\rangle_{21} = \left\langle j_1 j_2 \left| V_{(1,2)} \right| j_3 j_4 \right\rangle_J$$

حيث إن معادلة (4) يمكن من خلالها حساب قيم الطاقات للنيوكليونات في الترتيب النقي (Pure Configuration)، أما لحساب قيم الطاقات للنيوكليونات في الترتيب المختلط فتضاف معادلة (5) إلى المعادلة (4).

عند التعامل مع اثنين من الجسيمات خارج القلب المغلق فان عنصر المصفوفة يعطى بالعلاقة الآتية [12]:-

$$\left\langle j_1 j_2 \left| V^{SDI}(1,2) \right| j_3 j_4 \right\rangle_{JT} = -(-1)^{j_1+j_2+j_3+j_4} \frac{V_{\circ}\overline{R}}{4(2J+1)} \times \left[1 + (-1)^{\ell_1+\ell_2+\ell_3+\ell_4}\right] \times$$

$$\left[(2j_1+1)(2j_2+1)(2j_3+1)(2j_4+1)\Big/\left(1+\delta_{j_1 j_2}\delta_{\ell_1\ell_2}\right)\times\left(1+\delta_{j_3 j_4}\delta_{\ell_3\ell_4}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \times\left[\left(1+(-1)^T\left\langle j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1\right\rangle\right.\right. \times$$

$$\left.\left\langle j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1\right\rangle+(-1)^{\ell_2+\ell_4+j_2-j_4}\times\left\{1-(-1)^{J+T+\ell_3+\ell_4}\right\}\left\langle j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle\left\langle j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle\right] \quad \text{..... (6)}$$

حيث إن قيم عنصر ا لمصفوفة تعطى مع التقيد بالتكامل القطري

$$\overline{R}=\int R_{j_1}(r)R_{j_2}(r)R_{j_3}(r)R_{j_4}(r)r^2dr$$

إذ إن $R_j(r)$ هي دوال ذاتية للجهد وبذلك فان عنصر المصفوفة يحدد بوضوح دوال موجة موجبة عندما $r\to 0$ فأن R_0 عدد موجب للحالة j

$$\overline{R}=(-1)^{n_1+n_2+n_3+n_4}R_\circ \quad \text{..... (7)}$$

وعند التعامل مع اثنين من الجسيمات المتماثلة حيث إن البرم النظيري لها T=1 فان عنصر المصفوفة في المعادلة (6) يعطى بالشكل الآتي[12] :-

$$\left\langle j_1 j_2|V^{SDI}(1,2)|j_3 j_4\right\rangle_{JT}=(-1)^{j_1+j_3+\ell_2+\ell_4+n_1+n_2+n_3+n_4}\times\frac{V_\circ R_\circ}{4(2J+1)}\times\left[1+(-1)^{\ell_1+\ell_2+\ell_3+\ell_4}\right]$$

$$\left[(2j_1+1)(2j_2+1)(2j_3+1)(2j_4+1)\Big/\left(1+\delta_{j_1 j_2}\delta_{\ell_1\ell_2}\right)\times\left(1+\delta_{j_3 j_4}\delta_{\ell_3\ell_4}\right)\right]^{\frac{1}{2}}\times\left\{1-(-1)^{J+\ell_3+\ell_4}\right\}$$

$$\left\langle j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle\times$$

$$\left\langle j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle \quad \text{.....} \quad (8)$$

إذ إن n_i تمثل عدد الأنماط القطرية للحالة j، V_0R_0 تمثل قوة التفاعل وتحدد من الطيف التجريبي، ℓ عدد الكم المداري والأقواس $\left\langle j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1\right\rangle$ $\left\langle j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle$, $\left\langle j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1\right\rangle$, $\left\langle j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{-1}{2}|J0\right\rangle$ هي معاملات كلبش – كوردن.

الحسابات والنتائج (Calculations and Results)

يمكن تمثيل القلب المغلق لنواة الفسفور $^{30}_{15}P_{15}$ (الفرديـة – الفرديـة) بنواة السليكون ^{28}Si ونفترض أن النيوكليونين المتبقـيين البروتون والنيوترون يتواجدان في فضـاء الأنــموذج ($1s_{1/2}$ $od_{3/2}$) إما حالات الزخم الزاوي الكلي المسموحة والتماثل لنواة ^{30}P تكون على النحو الآتي :-

$$J^{+} = 0\ ,1\ ,2\ ,3$$

ولحساب قيم مستويات الطاقة المرافقة لكل حالة من الحالات المذكورة أعلاه في كلا الترتيبين المختلط والنقي للنيوكليونات المكافئة في فضاء الأنموذج ($1s_{1/2}$ $od_{3/2}$) نعتمد على قيم طاقــة الجسيمة المفردة للبروتون والنيوترون والتي تأخذ القيم الآتية[17-13,3]:-

$$\varepsilon_{1s_{1/2}}(p) = -2.236MeV$$
$$\varepsilon_{0d_{3/2}}(p) = -0.853MeV$$
$$\varepsilon_{1s_{1/2}}(n) = -8.474MeV$$
$$\varepsilon_{0d_{3/2}}(n) = -7.204MeV$$

وباستخدام قيم عنصر المصفوفة $\left\langle j_1 j_2 \left| V^{SDI} \right| j_3 j_4 \right\rangle$ التي تم حسابها بتطبيق المعادلتين(6,7) المدرجة في الجدول (1) ،ونحصل على قيم مستويات الطاقــة عندما يكون ترتيب النيوكليونات مختلطاً بتطبيق المعادلتين (4) ، (5) من خلال حسـاب القيم الذاتية والمدرجة في الجدول (2)، كما ونحصل على قيم مستويات الطاقــة في حالة ترتيب النيوكلـيونـات النــقي من خـلال تطبيق المعادلـة (4) فقــط والمدرجة فـــي الجـدول (3) ، وتمـــت في الجدوليـــن (4)،(5) مقارنـة القيم النظرية لمستويات الطاقـة للترتيبين المختلط والنقي نسبةً للحالة الأرضية على التوالي والقيم العملية المتوفرة [15- 17] والموضحـــة بالشــكل (1)والشكل (2) للترتيبين المختلط والنقي على التوالي .

جــدول (1) قـيم عنصر المصفوفــة باستخدام جهد دلتــا السطحــي(SDI) لنــواة ^{30}P عندمـا تكون قيمة $V_0 R_0 = 0.9MeV$.

j_1	j_2	j_3	j_4	J	$\left\langle j_1 j_2 \left| V^{SDI} \right| j_3 j_4 \right\rangle$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	-0.9
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	0	0
$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	0	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	0.5692
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	0
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	-1.8

$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	1.1384
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	2	−1.08
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	2	0
$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	3	−1.08
$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	2	0
$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	−1.08

جـــدول (2) قـيم مستويـات الطاقـة لنـواة ^{30}P باستـخدام جهـد دلتـا السطحـي (SDI) في حالـة الترتيـب المختلط للنيوكليونات والمقابلـة لقيم الزخم الزاوي الكـلي والتماثـل.

J^{π}	$E(MeV)$
1^{+}	−13.589(G.S)
1^{+}	−11.682
2^{+}	−11.546
0^{+}	−10.711
1^{+}	−9.384
2^{+}	−9.383
3^{+}	−9.137
1^{+}	−8.461
0^{+}	−8.057
2^{+}	−8.057

جـــدول (3) قيـم مستويـات الطاقـة لنـواة ^{30}P باستخـدام جـهـد دلتـا السطحي (SDI) في حالـة الترتـيب النـقـي للنيوكليونات والمقابلـة لقـيم الزخـم الـزاوي الكلي والتماثـــل.

J^{π}	$E(MeV)$
1^{+}	−11.611(G.S)
1^{+}	−11.241
1^{+}	−11.127
0^{+}	−10.711
2^{+}	−10.521
2^{+}	−10.407
1^{+}	−9.137
3^{+}	−9.137
0^{+}	−8.057
2^{+}	−8.057

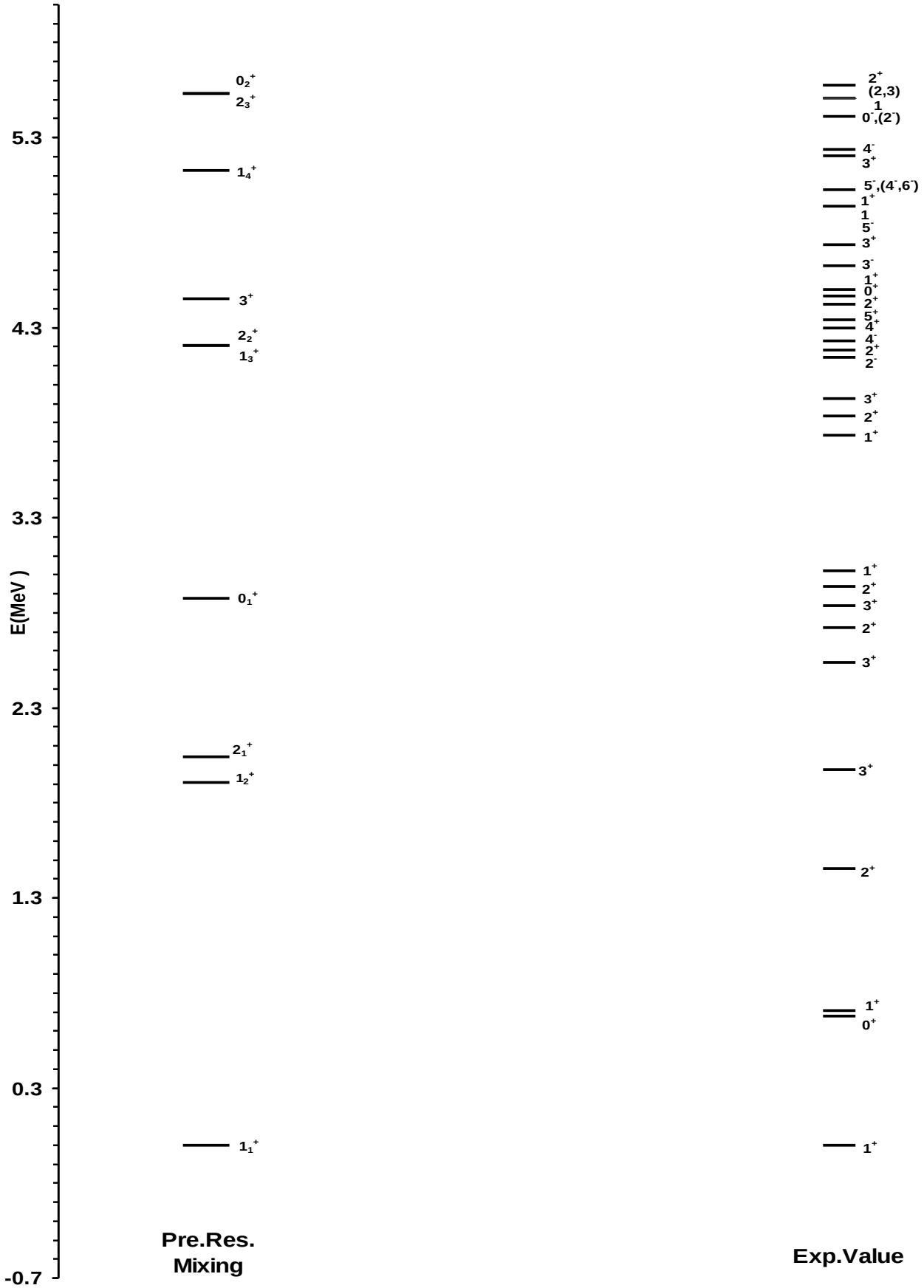
جـدول (4) المقارنـــة بيـن القيـم النظريـة لمستويـات الطاقـة نسبـة للحالـة الأرضيـة والقيـم العمليـة فـي الترتيـب المختلـط لنـواة ^{30}P بحسب قيم الزخـم الـزاوي الكـلـي والتماثـل.

Pre .Res. Mixing Configuration		Exp.Res. [19,18 ,17]	
J^{π}	$E(MeV)$	J^{π}	$E(MeV)$
1_1^{+}	0	1^{+}	0
0_1^{+}	2.878	0^{+}	0.677
1_2^{+}	1.907	1^{+}	0.709

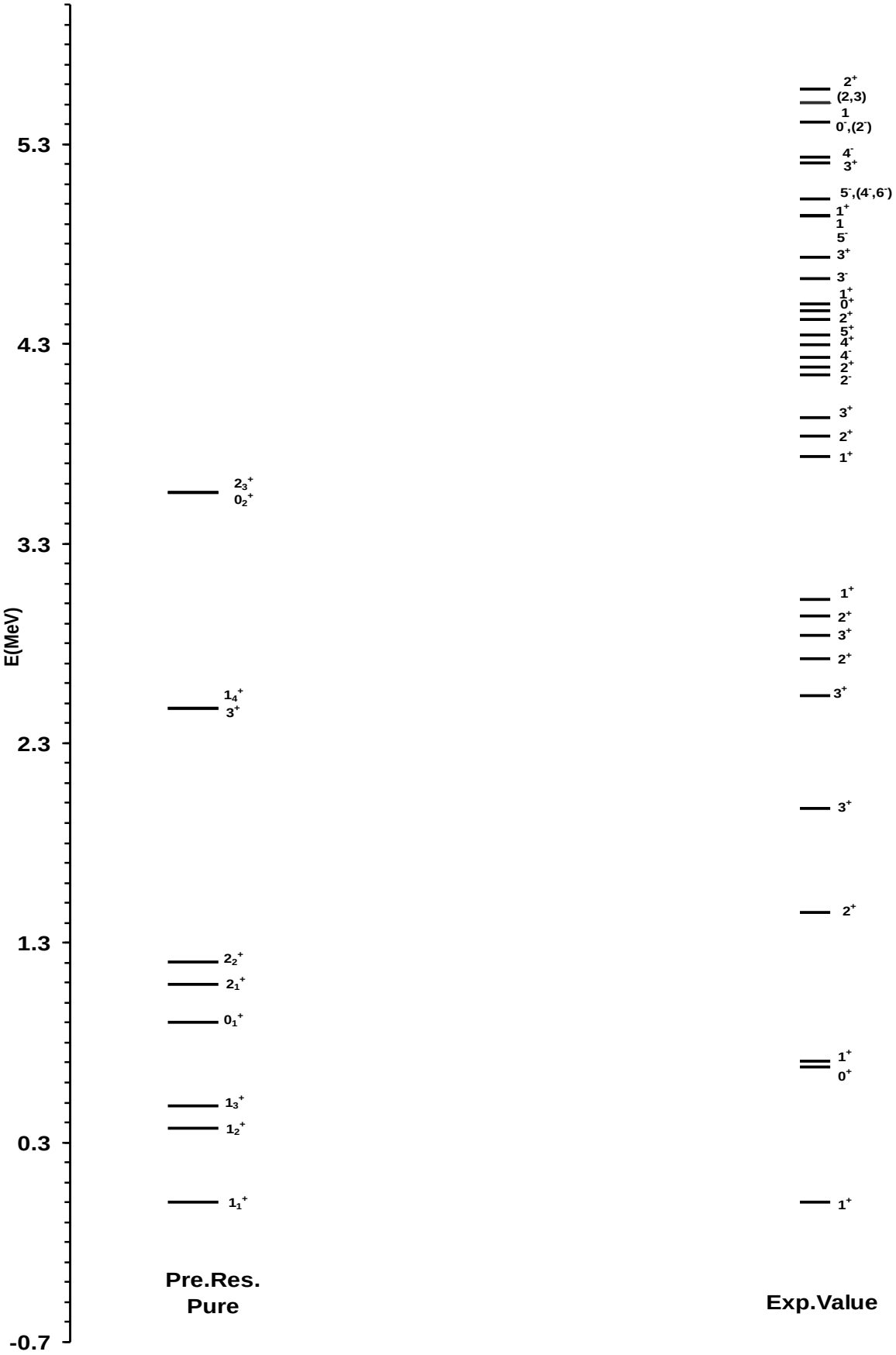
2_1^+	2.043	2^+	1.454
1_3^+	4.205	1^+	3.733
2_2^+	4.206	2^+	3.835
3^+	4.452	3^+	3.928
1_4^+	5.128	1^+	4.941
0_2^+	5.532	0^-	5.411
2_3^+	5.532	2^+	5.576

جـدول (5) المقارنــة بيــن القيـم النظريـة لمستويــات الطاقــة نسبـة للحالــة الأرضيــة والقيـم العمليـة فـي الترتيــب النقي لنــواة P^{30} بحسب قيم الزخـم الـزاوي الكـلـي والتماثــل.

Pre .Res. Pure Configuration		Exp.Res. [19,18 ,17]	
J^{π}	$E(MeV)$	J^{π}	$E(MeV)$
1_1^+	0	1^+	0
0_1^+	0.900	0^+	0.677
1_2^+	0.370	1^+	0.709
2_1^+	1.090	2^+	1.454
1_3^+	0.484	1^+	3.733
2_2^+	1.204	2^+	3.835
3^+	2.474	3^+	3.928
1_4^+	2.474	1^+	4.941
0_1^+	3.554	0^-	5.411
2_3^+	3.554	2^+	5.576



الشكل (1): المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية في الترتيب المختلط لنواة ^{30}P والقيم العملية [17,16,15] باستخدام جهد دلتا السطحي بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل



الشكل (2): المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية في الترتيب النقي لنواة ^{30}P والقيم العملية [17,16,15] باستخدام جهد دلتا السطحي بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل

المناقشة والاستنتاجات (Discussion and Conclusions)

أتـضح بحسب قيم مستويات الطاقة النهائية لنواة P^{30} في الترتيب المختلط والمرفقة في الجدول (4) وبالشكل(1)إن هنالك توافق ملحوظ مع مستويات الطاقة العليا العمـلية وكما يأتـي :-

تـم تحديد طاقة المستوي 1^+ بالقيمة $4.205\ MeV$ عند مقارنتها بالقيمة العمليـة $3.733\ MeV$ ، وفيما يخص طاقة المستـوي 2^+ فحددت بالقيمة $4.206\ MeV$ في حين كانـت قيمـتـها العمليـة $3.835\ MeV$ ، كما وحـددت قيمـة طاقـة المسـتوي 3^+ وهـي $4.452\ MeV$ التـي قـو رنـت بالقيمـة العمليـة $3.928\ MeV$ ، ووجـدت طاقـة المستـوي 1^+ بقيمـة $5.128\ MeV$ فـي حـين ظهـرت قيمتهـا العمليـة $4.941\ MeV$ ، ووجدنـا إن طاقـة المستـوي 0^+بالقيـمة $5.5324\ MeV$ ،وظـهـرت قيمتـه العمليـة $5.411\ MeV$ التي تمثل المستوي 0^- ،ووجدت طاقة المستوي 2^+ بالقيمة $5.532\ MeV$ وقورنت بالقيمـة العمليـة $5.576\ MeV$.

إما قيم مستويات الطاقة النهائية النواة P^{30} في الترتيب النقي المرفقة في الجدول (5) وبالشكـل(2) فوجد بأن هنالك تطابقا جيداً مع مستويات الطاقة الواطئة العملـية وكما يأتـي :-

لقد تم الحصول على قيمة طاقة المستوي 1^+ وهي $0.370\ MeV$ في حين كانـت قيمتـه العملـية $0.709\ MeV$ ،وحصلنا على قيمـة طاقـة المستوي 2^+ وهـي $1.090\ MeV$ في حين ظهرت قيمته العملية وهي $1.454\ MeV$ ،وفيما يخصّ طاقة المستوي 0^+فقد حددت بقيمة $0.90\ MeV$ في حين كانت القيمة العملية لهذا المستوي $0.677\ MeV$.

أما الفرو قات الموجودة بين المستويات للترتيبين تعود أيضا لان الجهد SDI يستخدم باراميترواحد وهو V_0R_0 ، هذا وقـد تبين من خلال النتائج المتقدمـة للنواة المستخدمة في الدراسة بأن تأثـير نوع النيوكليون يظـهر في الحسابات من خلال قيمة طاقـة الجسيمـة المـفردة والتـي تعتـمد بشكل رئيـس علـى نـوع النيوكليـون . حيث إن نواةP^{30} تتكون من نوعيـن مختلفين مـن النيوكليـونات (بروتون واحد ونيوترون واحد) والواقعـة خـارج القلب المغـلق Si^{28} وفـي فضاء الأنـموذج($1s_{1/2}od_{3/2}$) ،حيـث أن التركيـب النووي لهذه النواة غير مستقر ولا تخضع لنظرية الحزم وأن دالـة الموجـة النهائيـة هي خلـيط مـن دوال موجـة البروتـون والنيوتـرون مـما يـزيد بعـدد المستويـات المخلوطـة التماثـل والتـي يكو ن موقعـها في مستويات الانحلال غـير محـدد دائـماً ، بالإضافة إلـى ذلـك هنالك عـدد من المستويـات العملية المتداخلة والتي لم تظهر لها قـيم في حساباتـنا النظريـة لكلا الترتيبيـن المختلـط والنـقي.

بحسب النتائج التي تم الحصول عليها بتطبيق أنموذج القشرة النووي واستخـدام جهـد دلتـا السطحي للنواة المختارة في الدراسة نستنتـج مايـاتي :-

1- إن أنـموذج القشـرة النـووي نـاجح لحسـاب مستويـات الطاقـة للنـواة المخـتارة فـي الدراسـة باستخـدام جـهـد دلـتا السطـحـي، رغم الاختلافات الموجودة في النتائج عند مقارنتها بالعملي .
2- إن الترتيـب المختلط يعـطي لمستويـات الطاقـة قيماً أكثر دقـة وأقرب إلى القيم العملية مـن الترتيـب النقي(بالنسبة لقيم مستويات الطاقة العالية) ويعود ذلك لعدم إهمال تـأثيـر المستوييـن اللـذيـن يمثلان فضـاء الترتيب بعضـها فـي بعـض فـي الترتـيب المختلط.
3- أثبتـت الحقيقـة العلميـة، وهـي أن قيم مستويـات الطاقـة فـي الترتيـب المختلـط تندفـع إلـى الأمـام (أي إنها تـزداد)إذا ما قورنـت بمثيلـتها فـي الترتيـب النـقي وهذا مالوحظ فـي جميـع قراءتـنا للنواة التـي استخدمت في الدراسة.
4 - نلاحظ أن تأثير نوع االنيوكليون يظهر في طاقة الجسيمـة المـفردة للبروتون والنيوترون أي عندما يكـونا النيوكليونـين في خارج الـقلب المغـلق غير متماثـلين.

(References) المصادر

1- John lilly", Nuclear Physics ,Physics Principles and Applications", John Wiley & Sons , Ltd , (2001).
2- E.Gaurier, G. Martines-Pinedo, F. Nowacki, A.Poves, A.P.Zuker, Rev.Mod .Phys,77, P. 427-488,(2005).
3- K.S.Krane," Introductory Nuclear Physics",John Wiley&Sons,Inc, (1988).
" Nucleus Shell Theory"4- Amosede – Shalit , Igal Talmi, Academic press, New York,(1963).
5- P.J. Brussaard, P.W.M. Glaudemans ," Shell Model Application In Nuclear Spectroscopy ", North – Holl and Publishing Company., (1977).
6- R.Arvieu,O.Bohigas,C.Quesne, Nucl.Phys.A143, P.577-601, (1970).
7- A. Goswamit, L.Lin, Nucl. Phys.A, 186,P.88-96,(1972).
8- M. Pautrat, J. M. Lagrange, J. S. Dionision, Ch-Vieu, J. anhorenbeeck , Nucl. Phys. A,443, P.172-188, (1985).
9- A. Jasielska, S. Wiktor, Acta. Phys. Pol, 1,B7, 2,(1976).
. ,M. Sc.Thesis , Kufa University ,(2005) 10- S.A. Hasson
11-J. Suhouen, 'Theoretical and Mathematical Physics' Springer-Verlag Berlin Heidelberg ,(2007).
12-R.D. Lawson, " Theory of the Nuclear Shell Model ", Clarendon Press,Oxford,(1980).
13- Arthur Beiser,"Concepts of Modren Physics ",McGraw-Hill book
Company, London,(2003).
14- D.W.Loveland ,D.J.Morrissey, G.T. Seaborg, "Modren Nuclear Chemistry ", John Wiley& Sons ,Inc,(2006).
P.M.Endt,R.B.Firestone,Nucl.Phys.A633,1,(1998).-15
16-R.B.Firestone,C.M.Baglin,"Table of Isotopes",John Wiley &Sons, (1999).
17-M.S.Basunia,"Nuclear Data Sheets "111,2331(2010) .