

حساب مستويات الطاقة للنوى $^{30}_{14}Si, ^{30}_{16}S, ^{30}_{15}P$ باستخدام جهد ولدن ثيل

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

الخلاصة:-

تم حساب مستويات الطاقة النووية لجميع قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل المسموح بها لكل مستوي بتطبيق أنموذج القشرة النووي واستخدام جهد ولدن ثيل للنوى $^{30}_{14}Si, ^{30}_{16}S, ^{30}_{15}P$ التي توصف بأنها تملك نيوكليونين خارج القلب المغلق $^{28}_{14}Si$ وتحتل فضاء الأنموذج $(1s_{1/2}, 0d_{3/2})$ وبعد مقارنة النتائج النظرية المحسوبة مع النتائج العملية المتوفرة حديثاً وجدنا تقارباً مقبولاً بينهما هذا وقد استخدم برنامج (Matlab-2010) لحساب القيم الذاتية للطاقة للنوى المذكورة أعلاه.

Calculation of Energies Levels for Nuclei $^{30}_{14}Si, ^{30}_{16}S, ^{30}_{15}P$ By Using Wildenthal Interaction

Ali. K. Hasan and Fatema .H. Obeed

Department of Physics, College of Education For Girls University of Kufa

Abstract

All Nuclear Energies Levels of all Allowable Momentum Values and Parity for level have been calculated by Applying Nuclear Shell Model and using Wildenthal Interaction(USD) of Nuclei $^{30}_{14}Si, ^{30}_{16}S, ^{30}_{15}P$ which contain two nucleons outside close core $^{28}_{14}Si$ and occupy the Space Model $(1s_{1/2}, 0d_{3/2})$ After Comparing the theoretical calculations results with recent available experimental data and found to be rather good agreement a well as Matlab 2010 Program used to calculate the Eigen Value of energies of the nuclei referred to above.

1-المقدمة :-

(Introduction)

عدة نماذج نووية كان لجميعها الأثر الكبير في تحديد المسار الذي تم إتباعه في توضيح مسألة التركيب النووي [1] ، ومن بين النماذج الأساسية المقترحة هو : أنموذج القشرة والذي يسمى أيضا أنموذج الجسيمة المستقلة [2] ، إذ إن بعض الدراسات على معدل طاقة الربط وكذلك خواص النوى قادت إلى إن النويات داخل النواة تكون مرتبطة بمدارات شبيه بمدارات الكترونات الذرة وقد سمي بالتركيب القشري أو تركيب المستويات الذي تكون فيه النواة مستقرة [3] ، حيث إن الفرضية الأساس لأنموذج القشرة تتمثل بوجود جهد نووي تتحرك فيه جميع النيوكليونات وان معدل الجهد لجميع النيوكليونات هو الذي يتحكم بحركة أي نيوكليون على انفراد وأن كل نيوكليون يمثل مداراً ذا طاقة وزخم زاوي محددين بشكل دقيق [4] ، أن التفاعل بين النيوكليونات الموجودة في المستوى الأرضي أو في مستوى الإثارة الواطنة بحسب أنموذج القشرة يكون تفاعلاً ضعيفاً جداً ولهذا السبب يسمى أحياناً أنموذج الجسيمة المستقلة [5] ، إن أهمية أنموذج القشرة تتجسد بشكل أساس في قدرته على إعطاء تتابع تقريبي صحيح لطاقات المستويات التي يمكن أن توجد فيها النيوكليونات ذات قيم مختلفة من الزخم الزاوي المداري [6] .

2- النظرية :-

(Theory)

استخدم أنموذج القشرة النووي بشكل ناجح لوصف طيف المستويات الواطنة للنوى ذات بروتونات ونيوترونات واقعة قرب القشرات المغلقة [7] ، إذ إن القشرة المغلقة تعامل كفراغ بسبب أن النيوكليونات لا تتغير في القشرة المغلقة وعليه فإن الهاملتوني الذي يحكم ديناميكية نيوكليونات التكافؤ يتكون من جزأين هما الأول يمثل مجموع طاقات الجسيم المنفرد والثاني هو التفاعل المتبقي بين النيوكليونات ويكتب بالصيغة الآتية [8] :-

$$H = \sum_i H_0 + \sum_{i < j} V_{ij} \dots \dots (1)$$

حيث أن H_0 تمثل هاملتوني الجسيم المستقل ، V_{ij} يمثل التفاعل المتبقي بين النيوكليونين.

أن طيف النواة المحتوية على قشرات مغلقة مضافاً إليها جسيم منفرد أو فجوة منفردة يزودنا بتفاصيل وأدلة كمية عن حركة الجسيم المستقل [9] ، حيث إن أي نيوكليون لا يبقى في مداره إلى الأبد لان التفاعل بين النيوكليونات يغير من طريقة ملء المدارات نتيجة التشتت (الاستطارة) وان نمط الملء يدعى بـ الترتيب أو التشكيل المخلوط (Configuration Mixing) [10].

وقد استخدمنا في هذا البحث تفاعل أنموذج قشرة sd وهو تفاعل نووي مستقل اشتق حديثاً وحصلوا عليه من البيانات التجريبية ويشار لهذا التفاعل بـ تفاعل ولدن ثيل (Wildenthal Interaction) أو تفاعل USD (USD Interaction) وهذا التفاعل الفعال كان ناجحاً جداً في فهم خصائص نوى قشرة sd لمدى العدد الكتلي هو $A = (16 - 40)$ ولا يظهر تأثيره خارج قشرة sd [11,12].

إن تفاعل ولدن ثيل حدد بواسطة حساب 63 عنصر مصفوفة لجسميتين الذي حسب في فضاء أنموذج ($0d_{5/2}, 1s_{1/2}, 0d_{3/2}$) لعدد كتلي مساوي إلى $A=18$ ، ويمكن التعبير عن عناصر المصفوفة للجسميتين باستخدام جهد ولدن ثيل في تمثيل ازدواج jj وفقا للمعادلة الآتية [12]:-

$$\langle ab; JT | V(1,2) | cd; JT \rangle = \sum_{L,S,L',S'} [(1 + \delta_{ab}) \times (1 + \delta_{cd})]^{-1/2} \times [(1 + \delta_{AB}) \times (1 + \delta_{CD})]^{1/2} \times$$

$$\begin{pmatrix} l_a & \frac{1}{2} j_a \\ l_b & \frac{1}{2} j_b \\ LSJ' \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} l_c & \frac{1}{2} j_c \\ l_d & \frac{1}{2} j_d \\ L'S'J' \end{pmatrix} \times \sum_p (-1)^{J-J'} \begin{Bmatrix} LSJ \\ S'L'p \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} LSJ' \\ S'L'p \end{Bmatrix}^{-1}$$

$$\times \langle AB; LSJ'T | V_p | CD; L'S'J'JT \rangle \dots\dots\dots (2)$$

في معادلة (2) أن الأعداد الكمية (a, b, c, d, J, T) هي في ازدواج (jj) ، حيث أن (a, b, c, d) هي مدارات الجسميات المفردة ضمن فضاء الأنموذج الموجود (J) هو ازدواج الزخم الزاوي الكلي للجسميتين .
 (T) هو البرم النظيري الكلي للجسميات الفردية فإذا كان البرم النظيري محفوظ فان عناصر المصفوفة تميز بواسطة $(T=0)$ أو $(T=1)$ وإذا كان البرم النظيري غير محفوظ فان هنالك ثلاثة مجاميع لعناصر المصفوفة لمزج من $(pppp)$ أو $(nnnn)$ أو $(pnpn)$ إذ أن n, p تمثل البروتون والنيوترون على التوالي، والأقواس المربعة الكبيرة هي معاملات تحويل $(L.S)$ إلى $(j.z)$ [12,13].

أما القوس $\langle AB; LSJ'T | V_p | CD; L'S'J'JT \rangle$ فيمثل عناصر المصفوفة في ازدواج $(L.S)$ ، والاحداثي V_p فيمكن التعبير عنه بالمعادلة الآتية [13]:-

$$V = \sum_P V_p = \sum_P U^P \cdot X^P \dots (3)$$

V_p هو يمثل تفاعل جسميتين أما المؤثرات U^P, X^P تمثل التنسوريات المختزلة للمرتبة P في إحداثيات الفضاء والبرم على التوالي حيث أن إحداثيات التفاعل هي تخصص بواسطة المرتبة P فإذا كانت $P=0$ للاحداثي المركزي و $P=1$ للاحداثي البرم والمدار وإلآنتي تناظري للبرم والمدار وان $P=2$ ، للاحداثي التنسوري، حيث أن عناصر المصفوفة في المعادلة (2) توضح أن عناصر المصفوفة في ازدواج $(L.S)$ هي مزج خطي من عناصر مصفوفة $(j.z)$.
هذا ويتضح من معادلة رقم (2) أن عناصر المصفوفة الناتجة لنواة $(A=18)$ لجسميتين في القشرة sd يمكن أن تكون مكتوبة من مزج خطي لحدود 20 أحداثي مركزي و 9 أحداثي البرم والمدار و 16 أحداثي تنسوري و 18 أحداثي البرم والمدار إلآنتي تناظري (إحداثيات ALS) والتي حسبت إحصائياً [14].
إن الفرضيات الأساسية لتفاعل ولدن ثيل تدرج وفقا للنقاط الآتية [13]:-

- 1- أن دوال الموجة تملك برم نظيري جيد.
- 2- قيم عناصر المصفوفة للجسميتين تحتفظ بمزج خطي محدد.
- 3- أن عناصر المصفوفة للجسميتين تعتمد على العدد الكتلي A وتعطى وفقاً للمعادلة الآتية [12,13,14]:-

$$\langle V \rangle_A = \langle V \rangle_{A=18} \times (A/18)^{-0.3} \dots (4)$$

حيث القوة (-0.3) حددت عمليا وهذا المقياس هو كنتيجة لتغير دالة الموجة القطرية كدالة للعدد الكتلي A .

هذا ويتبين من معادلة رقم (4) إن عناصر المصفوفة لقيم أخرى لـ A تنتج بواسطة ضرب عناصر المصفوفة لـ A=18 في المقدار $(A/18)^{-0.3}$.

إن عناصر المصفوفة تحدد بالاعتماد على عدد النيوكليونات خارج القلب المغلق فلو كان النيوكليونين بنفس الحالة $|jjJM\rangle$ فإن [15-18]:-

$$\begin{aligned}\langle jjJM|H|jjJM\rangle &= \varepsilon_j + \varepsilon_j + \langle jjM|V|jjM\rangle_J \\ \langle jjJM|H|jjJM\rangle &= 2\varepsilon_j + \langle jj|V|jj\rangle_J \dots\dots\dots(5)\end{aligned}$$

حيث أن ε_j تمثل طاقة الجسيمة المفردة نسبة للقشرة المغلقة و $\langle jj|V|jj\rangle_J$ تمثل طاقة التفاعل لجسيمتين بزخم زاوي كلي J (عناصر المصفوفة لاثنتين من الجسيمات) ، أما إذا كان النيوكليونين أحدهما في الحالة $|j_1j_2JM\rangle$ أو الآخر في الحالة $|j_3j_4JM\rangle$ فيمكن التعبير عن عناصر المصفوفة الهاملتوني بالمعادلات الآتية:-

$$\begin{aligned}\langle H\rangle_{11} &= \varepsilon_{j_1} + \varepsilon_{j_2} + \langle j_1j_2|V_{(1,2)}|j_1j_2\rangle_J \\ \langle H\rangle_{22} &= \varepsilon_{j_3} + \varepsilon_{j_4} + \langle j_3j_4|V_{(1,2)}|j_3j_4\rangle_J\end{aligned} \dots\dots\dots(6)$$

$$\langle H\rangle_{12} = \langle H\rangle_{21} = \langle j_1j_2|V_{(1,2)}|j_3j_4\rangle_J \dots\dots\dots(7)$$

فمعادلة (6) يمكن من خلالها حساب مستويات الطاقة للترتيب النقي فقط، إما المعادلتين (6) و (7) معاً فتحسب من خلالهما مستويات الطاقة للترتيب المختلط.

أما تحديد حالات الزخم الزاوي الكلي المسموحة للنواة فهي تعتمد على [15]:-

♦ في مدار الجسيمة المفردة نفسه أي أن $j_1 = j_2$ (j هي أنصاف أعداد صحيحة) فإنه يمكن ازدواج برميها إلى قيم زوجية من J أي أن :-

$$J = 0, 2, 4, \dots\dots\dots (2j - 1) \dots\dots\dots(8)$$

♦ جسيمة في الحالة j_1 والأخرى في الحالة j_2 حيث أن $j_1 \neq j_2$ فإن قيم الزخم الزاوي الكلي تأخذ القيم الآتية :-

$$J = j_1 + j_2, j_1 + j_2 - 1, \dots\dots\dots |j_1 - j_2| \dots\dots\dots(9)$$

3- الحسابات والنتائج (Calculations and Results)

يتطلب إجراء حسابات أنموذج القشرة لمستويات الطاقة معرفة بالمنطقة التي تجري فيها الحسابات التي تمثل قشر التكافؤ و التفاعل المناسب لهما، واستندت الدراسة في هذا البحث على ثلاث نوى هي $^{30}_{14}Si$, $^{30}_{16}S$, $^{30}_{15}P$ ذو العدد الكتلي A=30 ومختلفة في عدد ونوع نيوكليوناتهما وان فضاء الأنموذج

للجسيمات المكافئة لهذه النوى هو $(1s_{1/2}, 0d_{3/2})$ مع اعتبار القلب المغلق $^{28}_{14}Si$ فنواتي السيليكون ^{30}Si (Silicon Nucleus) و الكبريت ^{30}S (Sulfur Nucleus) الزوجية النيوكليونات تحتويان على نيوترونين و بروتونين خارج

القلب المغلق على التوالي أما نواة الفسفور ^{30}P (Phosphorus Nucleus) فإنها تملك نيوترون واحد وبروتون واحد خارج القلب المغلق واعتمدت الحسابات على استخدام جهد ولدن ثيل كتفاعل فعال حيث استخرجت قيم عناصر المصفوفة بدلالة ازدواج الزخم الزاوي المداري مع البرم ثم حولت بدلالة الزخم الزاوي الكلي حتى أصبحت معدة للاستخدام ضمن القشرة sd.

إن طاقات الجسيمات المفردة نسبة للقلب المغلق للنوى أعلاه ضمن فضاء الأنموذج $(1S_{1/2}, 0d_{3/2})$ هي للنيوترون $\varepsilon_{1S_{1/2}}(n) = -8.474 \text{ MeV}$ و $\varepsilon_{0d_{3/2}}(n) = -7.704 \text{ MeV}$ ، وللبروتون $\varepsilon_{1S_{1/2}}(p) = -2.236 \text{ MeV}$ و $\varepsilon_{0d_{3/2}}(p) = -0.853 \text{ MeV}$.
 أن قيم الزخم الزاوي الكلي المسموحة والتماثل لنواتي السيلكون ^{30}Si والكبريت ^{30}S تكون على النحو الآتي :-

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

إما قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل لنواة الفسفور ^{30}P فهي :-

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

وبالاعتماد على قيم طاقات الجسيمة المفردة للنيوترون والبروتون ضمن فضاء الأنموذج $(1S_{1/2}, 0d_{3/2})$ للنوى المستخدمة في الدراسة وكذلك قيم عناصر المصفوفة باستخدام جهد ولدن ثيل والمحسوبة طبقا للمعادلة (4) وتطبيقهما في المعادلات (6) و (7) نحصل على قيم مستويات الطاقة من خلال حساب القيم الذاتية للطاقة باستخدام برنامج Matlab ، ثم نأخذ قيم مستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية والتي تم مقارنتها مع القيم التجريبية المتوفرة [19,20] والمدرجة في الجداول (1), (2), (3) والموضحة بالأشكال (1) و(2) و(3) للنوى أعلاه على التوالي.

جدول (1) : المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}Si باستخدام جهد ولدن ثيل مع القيم العملية المتوفرة [19,20] وتبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

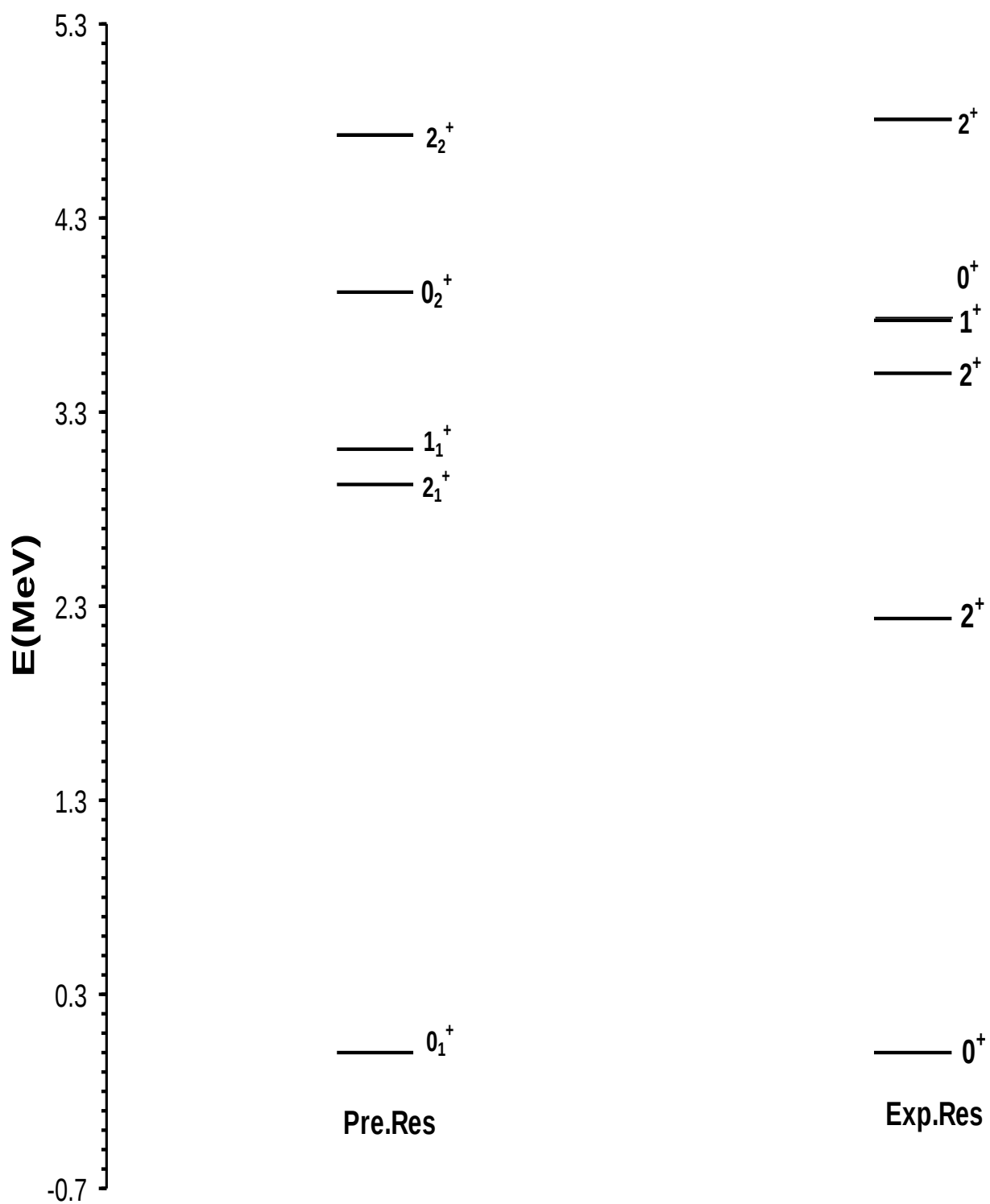
Pre .Res.		E_{exp}	
J^{π}	$E(\text{MeV})$	J^{π}	$E(\text{MeV})$
0_1^{+}	0	0^{+}	0
2_1^{+}	2.93	—	—
1_1^{+}	3.921	1^{+}	3.769
0_2^{+}	3.105	—	—
2_2^{+}	4.73	2^{+}	4.81

جدول (2) : المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}S باستخدام جهد ولدن ثيل مع القيم العملية المتوفرة [19,20] وتبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتمائل.

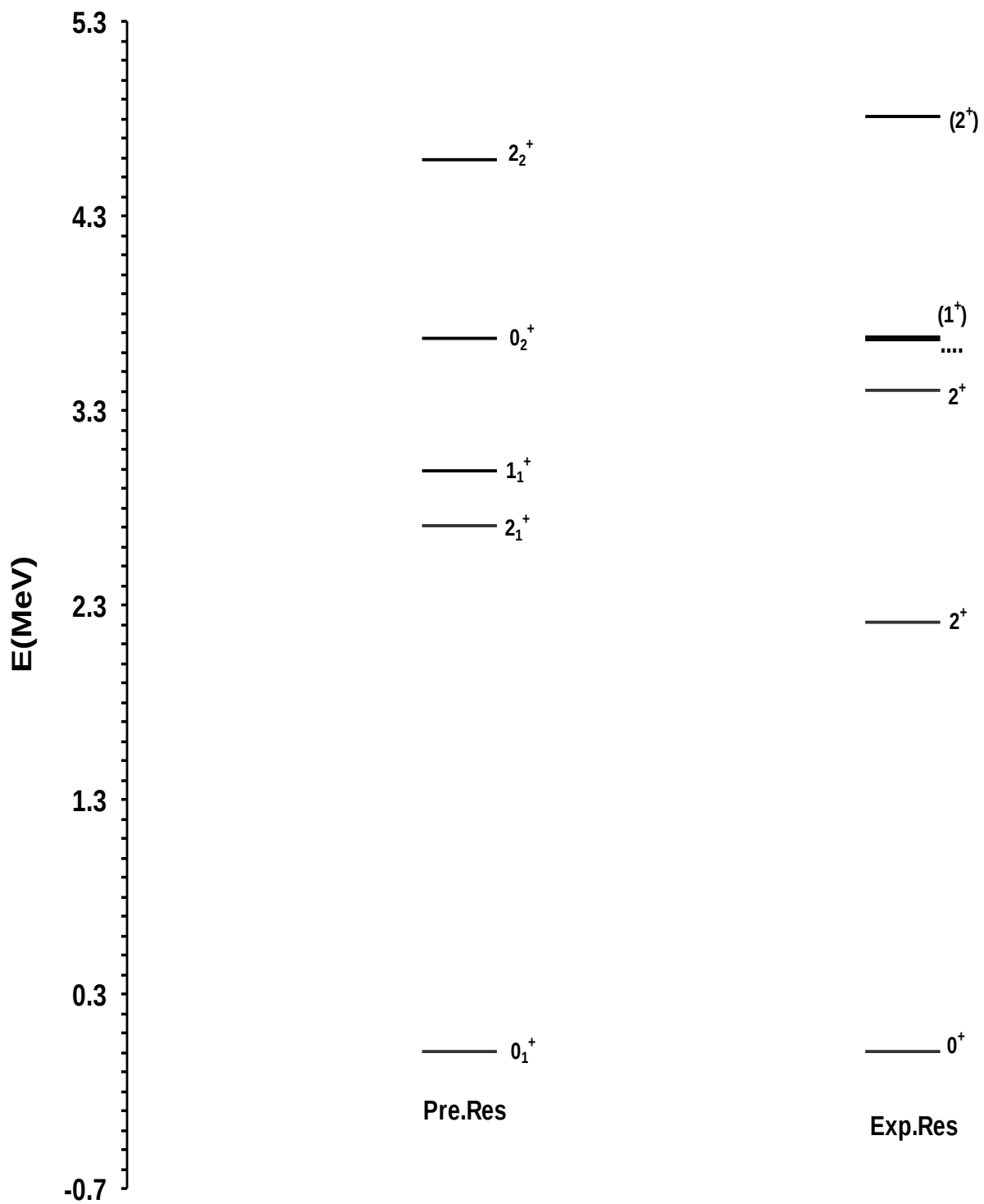
Pre .Res.		E_{exp}	
J^{π}	$E(\text{MeV})$	J^{π}	$E(\text{MeV})$
0_1^{+}	0	0^{+}	0
2_1^{+}	2.71	—	—
1_1^{+}	2.99	—	—
0_2^{+}	3.671	(1^{+})	3.676
2_2^{+}	4.59	(2^{+})	4.814

جدول (3) : المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}P باستخدام جهد ولدن ثيل مع القيم العملية المتوفرة [19,20] وتبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

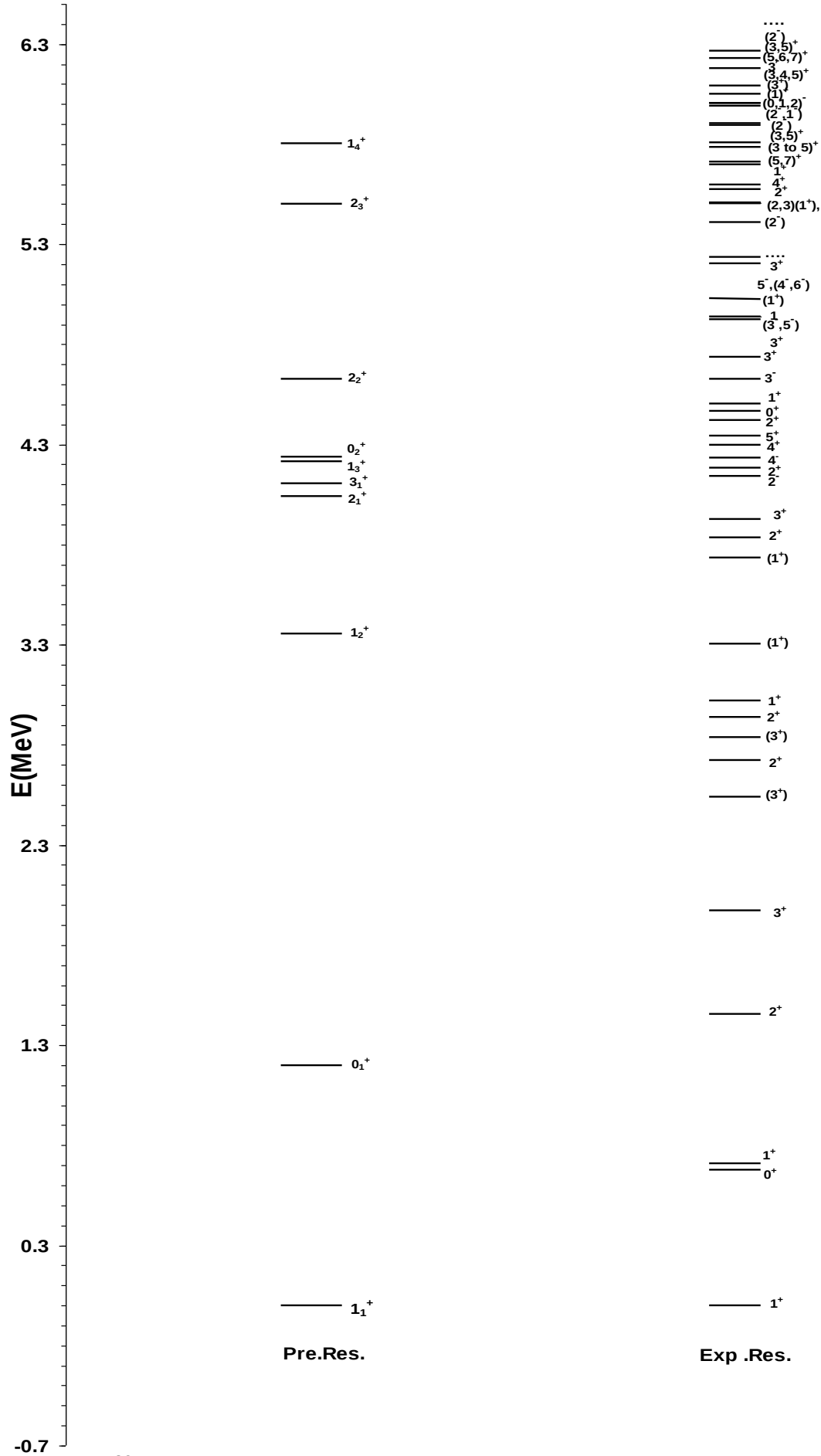
Pre .Res.		E_{exp}	
J^{π}	$E(\text{MeV})$	J^{π}	$E(\text{MeV})$
1_1^+	0	1^+	0
0_1^+	1.201	0^+	0.677
1_2^+	3.354	(1^+)	3.304
2_1^+	4.043	2^+	4.182
3_1^+	4.106	—	—
1_3^+	4.217	1^+	4.502
0_2^+	4.24	—	—
2_2^+	4.63	—	4.951
2_3^+	5.501	(2^+)	5.508
1_4^+	5.803	1^+	5.701



الشكل: (1) مقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}Si باستخدام جهد ولدن ثيل مع القيم العملية المتوفرة [19,20] وتبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل



الشكل: (2) مقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}S باستخدام جهد ولدن ثيل امع القيم لعملية المتوفرة [19,20]
وتبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل



الشكل (3): المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{30}P باستخدام جهد ولدن ثيل مع القيم العملية المتوفرة [19,20] تبعاً لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل

من دراسة مستويات الطاقة للنوى $^{30}_{14}Si$, $^{30}_{16}S$, $^{30}_{15}P$ والمدرجة في الجداول (1), (2), (3) والموصوفة بالأشكال (1), (2), (3) على التوالي للنوى المذكورة أعلاه والتي أجريت حساباتها في فضاء الأنموذج $(1S_{1/2}, 0d_{3/2})$ بتطبيق أنموذج القشرة النووي واستخدام جهد ولدن ثيل يتضح ما يلي:-

1- وجد تطابق معقول لعدد من قيم مستويات الطاقة المحسوبة للنوى المدروسة مع القيم العملية مثلاً قيم مستويات الطاقة النظرية $[4.73, 3.921]$ MeV التي تقابلها القيم العملية $[4.81, 3.769]$ MeV على التوالي والتي تكون بنفس قيم الزخم الزاوي الكلي والتمائل $\{2^+, 1^+\}$ هذا بالنسبة للنواة ^{30}Si ، أما مستويات الطاقة $[5.803, 4.217, 4.043]$ MeV ذات الزخم الزاوي الكلي والتمائل $\{1^+, 1^+, 2^+\}$ التي قورنت بالقيم العملية $[5.701, 4.502, 4.182]$ MeV المتمثلة بالزخم الزاوي الكلية والتمائل $\{1^+, 1^+, 2^+\}$ على التوالي بالنسبة لنواة ^{30}P .

2- توقع تحديد قيم الزخم الزاوي الكلي والتمائل لبعض مستويات الطاقة العملية فلنواة ^{30}S فإن مستوي الطاقة العملي $[3.676]$ MeV فلقد حدد بزخم زاوي كلي وتمائل 0^+ لأنه يملك الزخم الزاوي الكلي والتمائل 1^+ الغير مؤكد عملياً ، أما بالنسبة للنواة ^{30}P فإن مستوي الطاقة العملي $[4.951]$ MeV والغير محدد الزخم الزاوي عملياً فحدد بزخم زاوي كلي وتمائل 2^+ .

3- لقد تم تأكيد بعض قيم الزخم الزاوي الكلي والتمائل لمستويات الطاقة العملية المتوفرة الغير مؤكدة عملياً فلنواة ^{30}S فإن مستوي الطاقة العملي $[4.814]$ MeV أكد بالزخم الزاوي الكلي والتمائل 2^+ ، ولنواة ^{30}P فلقد أكد مستويي الطاقة العملية $[5.508, 3.304]$ MeV بالزخم الزاوي الكلي والتمائل $\{2^+, 1^+\}$ على التوالي.

4- وجدت بعض قيم مستويات الطاقات النظرية المحسوبة والتي لم تقابلها أي قيمة من القيم العملية المتوفرة فلنواة ^{30}Si وجد المستويين $[3.105, 2.93]$ MeV بزخم زاوي كلي وتمائل هو $\{0^+, 2^+\}$ ، أما في نواة ^{30}S فوجدت الطاقتين $[2.99, 2.71]$ MeV بزخم زاوي كلي وتمائل هو $\{1^+, 2^+\}$ على التوالي ، أما بالنسبة لنواة ^{30}P فلقد وجدت قيم الطاقات $[4.24, 4.106]$ MeV بزخم زاوي كلي وتمائل هو $\{0^+, 3^+\}$ على التوالي .

5- تأكد بأن تطبيق أنموذج القشرة النووي باستخدام جهد ولدن ثيل هو أنموذج ناجح للحصول على مستويات الطاقة للنوى المختارة في البحث .

(References)

- [1]: A. Klimkiewicz *et al.*, (2007) ,Phys. Rev. C **76**.
- [2]: K.S.Krane, (1988), ntroductory Nuclear Physics,John Wiley& Sons,Nework,Inc.P.116.
- [3]: Amose de-Shalit and Feshbach, (1974), Theoretical Nuclear Physics,JohnWiley& Sons, Inc.P.277.
- [4]: A. Andery, (2005), Nuclear Structure in the Region of The Doubly –Magic ^{100}Sn , Ph.D.Thesis ,Sofia University .P.2.
- [5]: John lilly, (2001),Nuclear Physics ,Physics Principles and Applications", John Wiley & Sons , Ltd , P.46.
- [6]:B.Provh, K.Rith , C.Scholz and F. Zetsche,(2006), Particle and Nuclei ,An Introduction to the Physical Concepts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.P.256.
- [7]: B.M.Predom, and B.H.Wildenthal ,(1972),Phys .Rev C,Vol.6,No5,P.1633.
- [8]: T. Otsuka, (2009), Shell Structure of Exotic Nuclei. Lect. Notes Phys, Springer Lecture Notes in Physics,Vo.25, No.764.P.P.23-24.
- [9]: A.Bohr, and B.R.Mottelson,(1988),Nuclear Structure,World Scientific Publishing Ltd,P.310.
- [10]: P.J. Brussaard and P.W.M. Glaudemans ,(1977),Shell Model Application In Nuclear Spectroscopy, North – Holl and Publishing Company.P.52.
- [11]: K. S. Jassim,(2011), International Journal of Science and Technology, Vol .1,No.3, ISSN 2224-3577,P.140 .
- [12]: B.H.Wildenthal,(1988),Prag.Part.Nucl.Phys.No.6.P.P.87-88
- [13]: B.A. Brown, W.A. Richter, R.E .Julies and B. H. Wildenthal, (1988), Semi-empirical effective interaction for the (1s-0d) ,Annals of Physics ,Vol.182, P.P.191-236.
- [14]: B.A. Brown ,(2001), Progress in Particle and Nuclear Physics , Vol.47,No.517,P.P.22-23.
- [15]: R.D Lawson,(1980),Theory of theNuclear Shell Model,Clarendon Press,Oxford,P.P.30-31
- [16] : A.K. Hasan and F.H .Obeed,(2011) ,J.Kerbala University, Vol .9,No.3, P.229.
- [17]: A. K. Hasan,(2009),J.Kufa.Phys.Vol.1,No.1,P.P.11-14.
- [18]:A. Alex Brown,(2005) , Lecture Notes in Nuclear Structure Physics,P.P.206-208.
- [19] M-B.Firestone and C.M.Baglin,(1999), Table of Isotopes ,John Wiley &Sons, New York.
- [20]: M.S. Basunia,(2010),Nuclear Data Sheet ,Vol .111, No.2331.