حساب مستويات الطاقة للنواتين الاركون ^{38}Ar و الكبريت ^{38}S باستخدام جهد دلتا السطحي

علي خلف حسن يسرى عباس عبد
Yussra_Abbas100@yahoo.com
جامعة الكوفة ـ كلية التربية للبنات ـ قسم الفيزياء

الخلاصة :

تم تطبيق أنموذج القشرة النووي باستخدام جهد دلتا السطحي لحساب قيم طاقات المستويات والزخم الزاوي الكلي والتماثل لنواتي الاركون (^{38}Ar) والكبريت(^{38}S) ذواتا عدد كتلي متساوٍ وهما يحتويان على نيوكليونين خارج القلب المغلق ^{36}S وهي تتواجد في فضاء الأنموذج ($Od_{3/2}$ $Of_{z/2}$) واعتمدت دراسة النوى المذكورة اعلاه على استخدام برنامج حاسوب (Matlab - 2007) لحساب قيم عناصر المصفوفة باستخدام جهد دلتا السطحي التي تدخل دخولا رئيسيا في حساب مستويات الطاقة لجميع قيم الزخم الزاوي الكلي المسموحة وحساب القيم الذاتية في حالة تطبيق الترتيبين المختلط والنقي، واستخدام البرنامج المذكور لحساب المعاملات الضرورية لحساباتنا كمعاملات كلبش كوردن، واظهرت النتائج الحالية بعد مقارنتها بالقيم العلمية المتوفرة تطابقا مقبولا مع القيم النظرية في حالة الترتيبين المختلط والنقي كما تم تأكيد بعض قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

الكلمات المفتاحية : أنموذج القشرة، جهد دلتا السطحي.

Calculating the Energy Levels for two Nuclei Argon ^{38}Ar and sulfur ^{38}S by Using Surface Delta Interaction

Ali .k. Hasan Yusra.A.Abd

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

Abstract:

The Nuclear Shell Model has been applied by using Surface Delta Interaction (SDI) to calculate the energy levels and the parity for two Nuclei of Argon ^{38}Ar and Sulfur ^{38}S which are equivalent in mass number, and contain two nucleons outside the close core (^{36}S) founded on the Model Space ($od_{3/2}$ $of_{7/2}$). A Matlab computer program has been used to study the nuclei referred to above for calculating Matrix Elements by using Surface Delta Interaction (SDI) that mainly intervene to calculate the levels of energy for all allowable total angular momentum and the eigen values in state of mixing and pure application configuration, and also the mentioned program used for calculated necessary coefficients in our calculation as Clebsch-Gorden Coefficients. After comparing the present results with the available experiment results, they have appeared to be in a very good agreement with theoretical values in the state of mixing and pure configurations, and also some of the values of the total angular momentum and parity has been confirmed.

Key words: **Shell Model, Surface Delta Interaction.**

1- المقدمة Introduction

تهدف الفيزياء النووية الى دراسة التركيب النووي وطبيعة التفاعلات بين النيوكليونات الذي يعد سمه للتفاعل القوي ويؤثر تأثيرا مهما في قياس خصائص النوى [1]، ويعتبر أنموذج القشرة واحد من أهم النماذج النووية التي تستخدم لفهم الخواص الرئيسة للتركيب النووي فهو ينظر إلى النواة على أنها تتكون من النيوكليونات التي تترتب في أغلفة معينة مثلها في ذلك الاغلفه الذرية للالكترونات ويتحرك كل نيوكليون حركة مستقلة عن الاخر ولكنها جمعيا تتحرك في المجال (الجهد) النووي الناتج عنها جميعا [2]،يمثل أنموذج الجسيم المنفرد اول مراحل تطور انموذج القشرة النووي والذي يفترض إن النيوكليونات تتحرك بشكل مستقل عن بعضها البعض في مجال جهد نووي مشترك [3]، حيث نجح انموذج الجسيم المنفرد في حساب البرم والتماثل للمستويات الارضية وحساب العزوم المغناطيسية للنوى في مستوياتها الأرضية ، كما وضح ان النيوكليونات المزدوجة يكون لها زخم زاوي يساوي صفراً والزخم الزاوي الكلي للنواة يحدد على وفق حالة النيوكلون الأخير غير المزدوج [5,4].

2- النظرية Theory

يفترض انموذج القشرة أن الجسيمات تتحرك بصورة مستقلة عن بعضها البعض حيث يوجد تأثير متبادل بين النيوكليونات ناتج عن التصادم بينهما وهذا يقودنا الى مفهوم التأثير المتبادل [6].

اي انه القوة الناتجة من التصادم بين النيوكليونات والتي تحدث اضطرابا على مؤثر هاملتون ويتمثل بجهد الطاقة للنيوكليونات ويساوي حاصل جمع جهد جسيمتين ويعبر عنه $\sum_{i<j} V_{ij}$.

اذن نعبر عن مؤثر الهاملتون للحالة المضطربة بعد إضافة طاقة التأثير المتبادل كالأتي :-

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

ويحدث بمرور الوقت تغير في طاقة الجسيمة التي تتحرك في مستوي معين نتيجة للتصادمات بين النيوكليونات ومن ثم تحتل مستويات قريبة اخرى. اي ان التأثير المتبادل المتبقي يخلط مستويات الجسيمة المفردة المختلفة ويولد ترتيب مخلوط ، فالسماح للتأثير المتبقي بين النيوكليونات يزيل الانحلال في المستويات (الذي يمثل خاصية من خواص انموذج القشرة) لذلك فسوف يلغي هذا التأثير أنموذج الجسيمة المستقلة،وان اغلب التصادمات بين النيوكليونات تحدث وهي عند السطح فالتأثير المتبادل يحدث عند السطح [7,8,9].

ان التأثير المتبادل المتبقي يقوم عند السطح ويسمى بجهد دلتا السطحي الذي يعبر عنه بـ (SDI) هذه القوة المتبقية يمكنها ان توضح كلا من قوة الازدواج قصيرة المدى وقوة طويلة المدى والتي تنشأ كل منهما من التهيجات الجماعية، حيث ان القوة المتبقية قصيرة المدى تقود الى تفاعل بين النيوكليونات في حالة الزخم الزاوي تساوي صفرا (تأثير الازدواج) الذي يسبب اعادة ترتيب مستويات الطاقة ويعمل على انشطار كل مستوي الى مستويين جديدين بزخوم زاوية كلية تساوي $j = l \pm 1/2$ [9,10].

و يقرب جهد دلتا السطحي بالعلاقة التالية [11,12]:-

$$V = -4\pi V_0 \delta(\boldsymbol{r}_i - \boldsymbol{r}_j) \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث V_0 تمثل قوة التفاعل Interaction Streught بين النيوكليونات، $\boldsymbol{r}_i, \boldsymbol{r}_j$ يمثلان متجهات الموقع Position Vectors.

قدم كل من (Green , Moszkowsk) جهد دلتا السطحي ونجحا في حساب عدد من الخواص النووية،وهناك عدة افتراضات لجهد دلتا السطحي (SDI) منها [13] :-

1. يحدث التفاعل المتبادل المتبقي عند السطح النووي فقط.
2. تكون قوة اثنين من النيوكليونات قوة دلتا حيث ان التفاعل الحر بين نيوكليون – نيوكليون يعرف بتفاعل قصير المدى والتفاعل المؤثر يمكن ان يمثل بقوة دلتا التي تمتلك عمليات رياضية بسيطة.
3. تكون احتمالية وجود الجسيم عند سطح النواة غير معتمدة على مدار انموذج القشرة الذي تتحرك فيه الجسيمات.

ويمكننا ايجاد عنصر المصفوفة لإثنين من الجسيمات خارج القلب المغلق بالعلاقة الأتية [14,15] :-

$$< j_1 j_2 |V^{SDI}(1,2)| j_3 j_4 >_{JT} = -(-1)^{j_1+j_2+j_3+j_4} \frac{V_0 \bar{R}}{4(2J+1)} \times$$

$$\{1+(-1)^{l_1+l_2+l_3+l_4}\} \times \left[\frac{(2j_1+1)(2j_2+1)(2j_3+1)(2j_4+1)}{(1+\delta_{j_1 j_2}\delta_{l_1 l_2}) \times (1+\delta_{j_3 j_4}\delta_{l_3 l_4})}\right]^{\frac{1}{2}} \times$$

$$[\{1+(-1)^T\} < j_1 j_2 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1> \times < j_3 j_4 \frac{1}{2}\frac{1}{2}|J1> + (-1)^{l_2+l_4+j_2-j_4} \times$$

$$\{1-(-1)^{J+T+l_3+l_4}\} < j_1 j_2 \frac{1}{2}-\frac{1}{2}|J0> < j_3 j_4 \frac{1}{2}-\frac{1}{2}|J0>] \ldots (3)$$

حيث ان قيم عنصر المصفوفة تعطى مع التقيد بالتكامل الإشعاعي :-

$$\bar{R} = \bar{R}(j_1 j_2; j_3 j_4) = \int R_{j1}(r) R_{j2}(r) R_{j3}(r) R_{j4}(r) r^2 dr$$

هذا الشرط ناتج من ان $R_j(r)$ دوال ذاتية للجهد، اذن عنصر المصفوفة يحدد بوضوح مع دوال موجة موجبة عند $r \to 0$ فإن :-

$$\bar{R} = (-1)^{n_1+n_2+n_3+n_4} R_0$$

حيث R_0 عدد موجب للحالة j، وتمثل $V_0 R_0$ قوة التفاعل وتحدد من الطيف التجريبي والاقواس الاتية :-

$$< j_1 j_2 \frac{11}{22} |J1>, < j_3 j_4 \frac{11}{22} |J1>, < j_2 \frac{1}{2} -\frac{1}{2} |J0>, < j_3 j_4 \frac{1}{2} -\frac{1}{2} |J0>$$

هي معاملات كلبش كوردن و T هو البرم النظيري (Isospin).

وعندما نتعامل مع اثنين من الجسيمات المتماثلة يكون البرم النظيري لها $T=1$ فان عنصر المصفوفة في المعادلة (3) يعطى بالعلاقة الأتية :-

$$< j_1 j_2 |V^{SDI}(1,2)| j_3 j_4 >_{JT} = (-1)^{j_1+j_3+l_2+l_4+n_1+n_2+n_3+n_4} \times \frac{V_0 R_0}{4(2J+1)} \times$$

$$\{1 + (-1)^{l_1+l_2+l_3+l_4}\} \times \left[\frac{(2j_1+1)(2j_2+1)(2j_3+1)(2j_4+1)}{(1+\delta_{j_1 j_2}\delta_{l_1 l_2}) \times (1+\delta_{j_3 j_4}\delta_{l_3 l_4})}\right]^{\frac{1}{2}} \times$$

$$\left[\{1 + (-1)^{J+l_3+l_4}\} \times < j_1 j_2 \frac{1}{2} -\frac{1}{2} |J0> < j_3 j_4 \frac{1}{2} -\frac{1}{2} |J0> \right] \quad \ldots..(4)$$

ويمكن وصف عنصر المصفوفة الهاملتوني بحسب الجسيمات في الغلاف الخارجي للقشرة المغلقة وترتيب الحالة j بالمعادلات الأتية [14]:-

$$\left.\begin{aligned} < H >_{11} &= \varepsilon_{j_1} + \varepsilon_{j_2} + < j_1 j_2 |V_{(1,2)}| j_1 j_2 >_J \\ < H >_{22} &= \varepsilon_{j_3} + \varepsilon_{j_4} + < j_3 j_4 |V_{(1,2)}| j_3 j_4 >_J \end{aligned}\right\} \quad \ldots..(5)$$

$$< H >_{12} = < H >_{21} = < j_1 j_2 |V_{(1,2)}| j_3 j_4 >_J \quad \ldots..(6)$$

ويمكن من خلال معادلة (5) حساب قيم الطاقات للنيوكليونات في الترتيب النقي (Pure Configuration). أما في حالة الترتيب المختلط (Mixing Configurition) فتحسب قيم طاقات النيوكليونات من خلال اضافة المعادلة (6) الى المعادلة (5).

3-النتائج والحسابات Calculations and Results

تم حساب مستويات الطاقة للنواتين الاركون ^{38}Ar والكبريت ^{38}S باستخدام جهد دلتا السطحي وتطبيق انموذج القشرة النووي وكما يلي :-

i- نواة الاركون ^{38}Ar :-

وتتشكل هذه النواة من (18) بروتونا و (20) نيوترونا و $^{36}_{16}S_{20}$ يمثل القلب المغلق لها، اي انها تحتوي بروتونين خارج القلب المغلق ويتواجدان في فضاء الأنموذج ($od_{3/2}$ $of_{7/2}$).

وان قيم الزخم الزاوي الكلي المسموحة والتماثل للنواة اعلاه تكون كالاتي :-

للمدار $od_{3/2}$ $\quad J^\pi = 0^+, 2^+$

للمدار $of_{7/2}$ $\quad J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+$

اما في حالة تواجد احد البروتونين في المدار $od_{3/2}$ والأخر في المدار $of_{7/2}$ ، فان قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل كالاتي :-

$$J^\pi = 2^-, 3^-, 4^-, 5^-$$

ولحساب مستويات الطاقة المرافقة لكل حالة من الحالات المذكورة في اعلاه في كلا الترتيبين المختلط والنقي للنيوكليونات المكافئة في فضاء الأنموج ($od_{3/2}$ $of_{7/2}$) نستند على قيم طاقة الجسيمة المفردة للبروتون الاتية [6,16].

$$\varepsilon_{od_{3/2}}(p) = -7.875 \quad MeV$$

$$\varepsilon_{of_{7/2}}(p) = -4.7722 \quad MeV$$

ونعتمد على حساب قيم عناصر المصفوفة لجهد دلتا السطحي $< j_1 j_2 |V^{SDI}| j_3 j_4 >$ التي حسبت من خلال تطبيق معادلة (4) باستعمال البرنامج المذكور سابقا للحصول على قيم مستويات الطاقة عندما يكون ترتيب النيوكليونات مختلطا و بتطبيق المعادلات (5) و (6) من خلال حساب القيم الذاتية. وفي حالة ترتيب النيوكلونات النقي يمكن الحصول على قيم مستويات الطاقة بتطبيق معادلة (5) فقط.

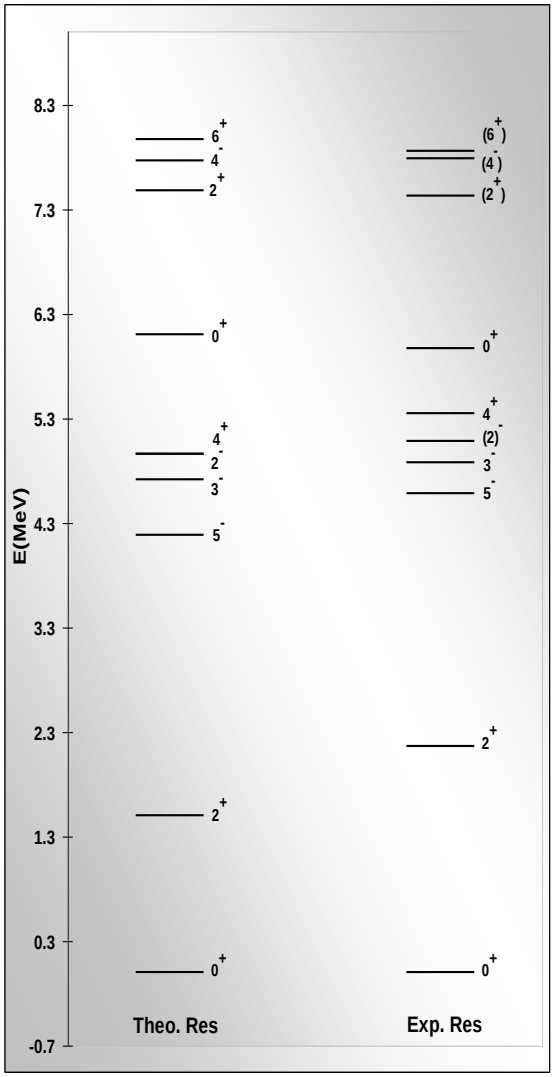
وعندما نأخذ قيم مستويات الطاقة لكلا الترتيبين المختلط والنقي نسبة للحالة الأرضية نحصل على قيم مستويات الطاقة النهائية المدرجة في الجدولين (1) و (2) للترتيبين على التوالي بالمقارنة مع القيم العملية [16,17] والمرسومة بالشكلين (1) و (2) على التوالي.

جـدول (1): المقـارنة بيـن القيم النظـرية لمستويـات الطاقـة نسبـة للحـالة الارضيـة فـي التـرتيب المختلط لنـواة Ar^{38} و القيم العملية بحسب قيم الزخـم الـزاوي الكلـي والتمـاثل.

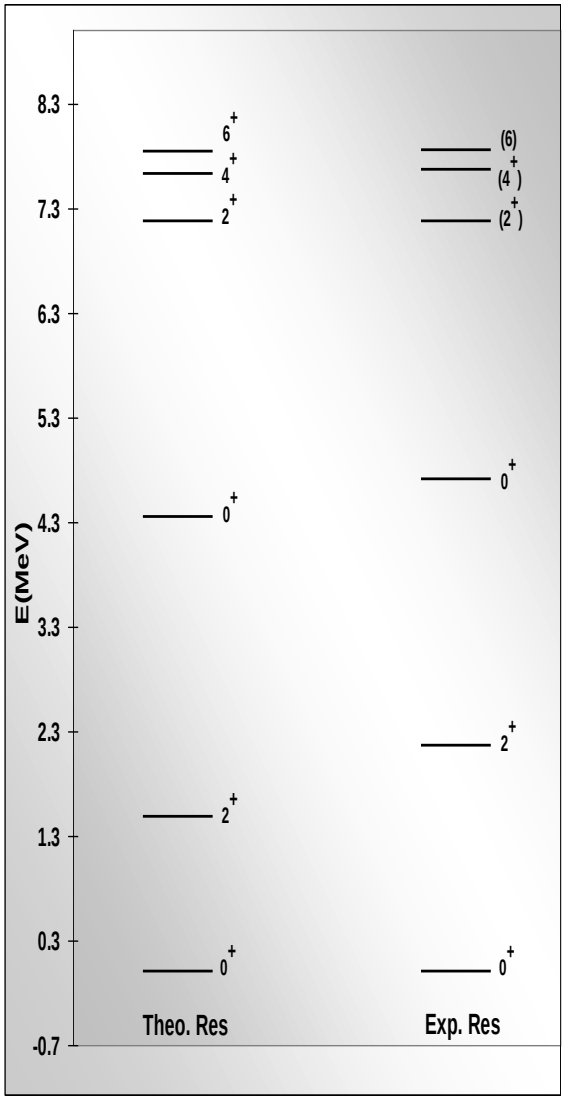
Theo. Res Mixing Configuration		Exp. Res[17]	
J^{π}	*E(MeV)*	J^{π}	*E(MeV)*
0^+	0	0^+	0
2^+	1.5	2^+	2.167
5^-	4.189	5^-	4.585
3^-	4.716	3^-	4.877
2^-	4.96	$(2)^-$	5.084
4^+	4.96	4^+	5.349
0^+	6.105	0^+	5.97
2^+	7.480	(2^+)	7.431
4^-	7.763	(4^-)	7.786
6^+	7.973	(6^+)	7.858

جـدول (2): المقـارنة بيـن القيم النظـرية لمستويـات الطاقـة نسبـة للحـالة الارضيـة في التـرتيب النقـي لنـواة Ar^{38} و القيم العملية بحسب قيم الزخـم الـزاوي الكلـي والتمـاثل.

Theo. Res Pure Configuration		Exp. Res[17]	
J^{π}	*E(MeV)*	J^{π}	*E(MeV)*
0^+	0	0^+	0
2^+	1.484	2^+	2.167
0^+	4.351	0^+	4.709
2^+	7.179	(2^+)	7.181
4^+	7.628	(4^+)	7.663
6^+	7.846	(6)	7.858



شكل (1) : المقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية في الترتيب المختلط لنواة Ar^{38} بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.



شكل (2) : المقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية في الترتيب النقي لنواة ^{38}Ar بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

ii- نواة الكبريت ^{38}S :-

تحتوي نواة الكبريت $^{38}_{16}S_{22}$ الزوجية – الزوجية على نيوكليونين (نيوترونين) خارج القلب المغلق $^{36}_{16}S_{20}$ وهما متواجدان في فضاء الانموذج ($of_{7/2}$).وحالات الزخم الزاوي الكلي المسموحة والتماثل هي :

$$J^{\pi} = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+$$

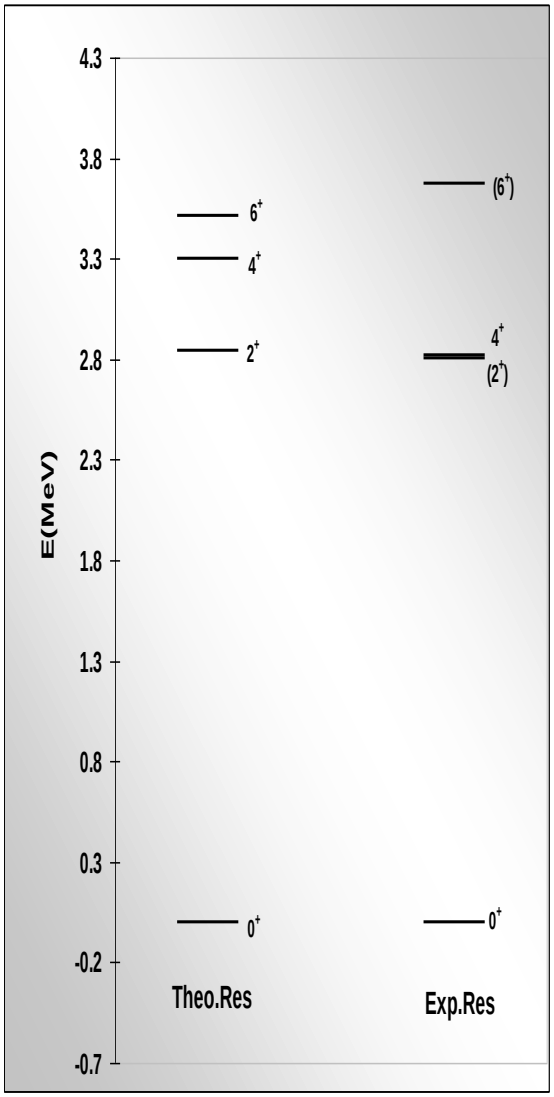
ولتحديد قيم مستويات الطاقة لكل حالة من حالات الزخم الزاوي الكلي والتماثل نعتمد على طاقة الجسيمة المفردة التي تساوي [6, 16]:-

$$\varepsilon_{of_{7/2}}(n) = -4.30244 \quad MeV$$

ونعتمد على قيم عنصر المصفوفة $< j_1 j_2 | V^{SDI} | j_3 j_4 >$ والتي تحسب من خلال تطبيق المعادلة (4) باستعمال برنامج الحاسوب المذكور سابقا، فنحصل على قيم مستويات الطاقة بتطبيق المعادلة (5) من خلال حساب القيم الذاتية وباستعمال نفس البرنامج. وبأخذ قيم مستويات الطاقة نسبة للحالة الارضية نحصل على قيم مستويات الطاقة النهائية المدرجة في الجدول (3) بالمقارنة مع القيم العملية [16, 17] والمرسومة بالشكل (3).

جدول (3): المقارنة بين القيم النظرية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الارضية و القيم العملية لنواة ^{38}S بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

Theo. Res		Exp. Res[17]	
J^+	*E(MeV)*	J^+	*E(MeV)*
0	0	0	0
2	2.844	(2)	2.805
4	3.298	4	2.825
6	3.517	(6)	3.674



شكل (3) : المقارنة بين القيم النظرية والعملية لمستويات الطاقة نسبة للحالة الأرضية لنواة ^{38}S بحسب قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل.

4- المناقشة Discussion

من خلال الحسابات النظرية لمستويات الطاقة المتهيجة التي اجريت باستعمال جهد دلتا السطحي وبتطبيق أنموذج القشر ة النووي للنواتين التي تم اختيارها وهي(^{38}Ar ، ^{38}S) والتي تم مقارنتها مع القيم العملية، ويمكن مناقشة هذه الحسابات وتوضيح بعض الاستنتاجات المستخلصة من هذه المناقشة وكالاتي:

i- نواة الأركون ^{38}Ar

من الجدول (1) الموضح بالشكل (1) والذي يمثل الترتيب المختلط نلاحظ:

* أن مستويات الطاقة النظرية المتمثلة بالقيم MeV (4.96, 4.189, 1.5) مقاربة تقاربا مقبولا مع القيم العملية المتمثلة بـ MeV (5.349, 4.585, 2.167) وبنفس قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل ($4^+, 5^-, 2^+$) على التوالي.
* تطابق واضح للمستويين النظريين MeV (6.105, 4.716) مع المستويين العمليين MeV (5.97, 4.877) وبنفس قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل ($0^+, 3^-$) على التوالي.
* تم تأكيد الزخم الزاوي الكلي 2^- غير المؤكد عمليا لمستوى الطاقة العملي MeV (5.084) مع تطابق واضح للقيمة النظرية للمستوي MeV (4.96) بنفس القيمة 2^- .
* تم تأكيد قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل لمستويات الطاقة العملية MeV (7.858, 7.786, 7.431) لقيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل ($2^+, 4^-, 6^+$) على التوالي من خلال القيم النظرية MeV (7.973, 7.763, 7.480)

من الجدول (2) الموضح بالشكل (2) والذي يمثل الترتيب النقي نلاحظ:

* ان مستويات الطاقة النظرية المتمثلة بالقيم MeV (4.351, 1.484) مقاربة تقاربا مقبولا مع مستويات الطاقة العملية MeV (4.709, 2.167) على التوالي وبنفس قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل $0^+, 2^+$.
* تم تأكيد قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل $2^+, 4^+, 6^+$ للمستويات العملية MeV (7.181, 7.663, 7.858) من خلال تطابقها مع القيم النظرية MeV (7.179, 7.628, 7.846) وبنفس قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل على التوالي.

ii- نواة الكبريت ^{38}S:-

من الجدول (3) و المرسوم بالشكل(3) نلاحظ:

* تم تأكيد قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل 2^+ ، 6^+ للقيمتين العمليتين MeV (3.674 2.805 ,) من خلال مقارنتها بالقيم النظرية MeV (3.517, 2.844) للزخوم الزاوية والتماثل المذكورين.
* ان قيمة مستوي الطاقة النظرية MeV (3.298) مقاربة تقريبا الى القيمة العملية MeV (2.825) وبزخم زاوي كلي وتماثل 4^+.

5- الاستنتاجات Conclusions

يتبين من خلال القيم التي حصلنا عليها لمستويات الطاقة المتهيجة للنواتين (Ar^{38} ، S^{38}) ما ياتي:

1 - تطابق مقبول لمستويات الطاقة النظرية عند مقارنتها مع المستويات العملية المحسوبة للنوى المختارة.

2- تم تأكيد بعض قيم الزخم الزاوي الكلي والتماثل لمستويات الطاقة العملية للنواتين Ar^{38} ، S^{38}.

3- من خلال قيم نواة الاركون والمتمثلة بالترتيبين المختلط والنقي وجدنا بأن قيم الطاقة عند الترتيب المختلط تكون أعلى منها للترتيب النقي ولنفس قيم الزخم الزاوي.

4- ان استخدامنا للترتيب المختلط يعطي دقة عالية مع إدخال كافة الاحتمالات للترتيبات دون إهمال
اي ترتيب.

5- إن أنموذج القشرة النووي أنموذج ناجح لدراسة مستويات الطاقة المتهيجة باستخدام جهد دلتا السطحي للنوى المدروسة في البحث.

المصادر References

1- S. S. M. Wong "Introduction Nuclear Physics" PHI Learning Private Limited, New Delhi, (2010).

2- H. A. Enge, "Introduction to Nuclear Physics", Addison Wesley (1983).

3- A. Pas and T. Ferbl"Introduction to Nuclear and Particle Physics", World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd, (2005).

4- John .Lilly, "Nuclear Physics Principles and Application", John Willy and Sons, Ltd, (2001).

5- G. K. S. Krane, "Introductory Nuclear Physics", John and Sone, Inc, (1988).

6- Sh. F. Abual hous, M. Sc. Thesis, Kufa University, (2005).

7- H. J. Arnikar, "Essentials of Nuclear Chemistry", Wiley Eastern Limited, (1982).

8- S. S. M. Wong, " Introductory Nuclear Physics", Wiley Science Publication, New York, (1998).

9- A. K. Hasan, Math and Phys. Journal(7), (1992).

10- V. Radcheno, Math-Phys, 0701054, Vol. 27, P 1-115, (2012).

11- JN. GU. Zhang CH, High Energy Phys and Nucl, phys.,Vol. 20, No. 21, (1996).

12- A. K. Hasan, Journal for Al- Qadisiya Pure Sci, Vol. 3, No. 7, (2002).

13- E. Gaurier, G. Martines, F. Nowacki, A. Poves and A. P. Zuker, Rev. Mod. Phys, No. 77, P. 477-488, (2005).

14- R. D. Lawson, "Theory of the Nuclear Shell Model", Clarendon pyess, Oxford, (1980).

15- AF. H. Urabie, M. Thesis, Kufa University, (2007).

16- G. A. Cameron, G. Chen and B. Singh, Nuclear Data Sheets, Vol. 113, No. 365, (2012).

17- G. A. Camero and B. Singh, "Nuclear Data Sheets", Vol. 109, No. 1, (2008).