حساب التركيب النووي لنظائر Dy (160, 158, 156 = A) باستخدام نموذج IBM-1

عمر احمد موفق صفاء الدين[1] و وفاء عبد الستار شاطي[2]

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة ديالى

الخلاصة

تم استخدام نموذج IBM-1 لحساب مستويات الطاقة النووية للنظائر Dy (A = 156 ,158 ,166) حيث تم حساب مستويات الطاقة ونسب الطاقة وطاقة الحزم (δ, β, α) باستخدام برنامج (IBS1.For). وقد لوحظ ان البوزونات البروتونية والنيوترونية للنظائر اعلاه تحدد بواسطة ازواج الجسيمات وان عدد البروتونات في جميع هذه النظائر هي في المنتصف بين عددين سحريين(50 ,82) مما ادى ذلك الى ان مستويات الطاقة جميعها تكون اقل من (2.5 MeV) وان عدد النيوترونات في هذه النظائر كلما ابتعدت عن العدد السحري 82 تقل قيم طاقة المستويات، اي تكون النظائر اقل استقرارا" ومن خلال حساب نسب مستويات الطاقة ($E4_1^+/E2_1^+$, $E6_1^+/E2_1^+$, $E8_1^+/E2_1^+$) وجد ان هذه النظائر تنتمي الى التناظر الدوراني Su(3). كل النتائج النظرية التي تم الحصول عليها قورنت بالنتائج العملية حيث لوحظ التقارب الواضح بين النتائج العملية والنظرية .

الكلمات المفتاحية: IBM-1 ، البوزونات ، التناظر الدوراني Su(3) ، ازواج الجسيمات.

Calculation of Nuclear Structure for the Isotopes Dy (A= 156, 158, 160) by Using the Model of IBM-1

Omar Ahmed Muwafaq Safauldeen[1] and Waffa Abdulsatar Shatti[2]

Department of physics - College of Science - University of Diyala

[1]Omar algadiry@yahoo .com

Received: 16 May 2017 Accepted: 22 October 2017

Abstract

The Interacting Boson model was used to calculate the nuclear energy levels for the isotopes Dy (A= 156, 158, 166) Where, the energy levels was calculated for ground state band, β-band and δ – band by using the program (IBS1. For), Its found that the proton boson and neutron bosons for the isotopes above are determined by the pairs of particles. The number of protons in all of these isotopes is in mid shell between two magic numbers (50, 82) then that's led to all the energy levels was less than 2.5 MeV. The number of neutrons in these isotopes whenever move away from the magic number 82 the energy levels will become less, i.e. the isotopes will be less stable. By calculating the ratio of the energy states ($E4_1^+/E2_1^+$,$E6_1^+/E2_1^+$, $E8_1^+ / E2_1^+$). We found that these isotopes were related to the rotation symmetry Su (3). The present results give a good agreement with the experimental values.

Key words: IBM-1, bosons, rotation symmetry, pairs of particles.

المقدمة

لقد توافرت للفيزياء النووية كميات هائلة من المعطيات والمعلومات النظرية والتجريبية المتعلقة بالنوى بسبب البحوث الكثيرة التي حاولت الولوج الى داخل هذه النوى أو بسبب المحاولة لتفكيك هذه النوى الى مكوناتها المختلفة، لذلك فقد اصبح من واجب باحثي الفيزياء النووية وضع انموذجا" او انموذجات نووية والتي تعد الخطوة الاولى لفهم المعطيات الملاحظة والمقامة والربط بينها واستخلاص النتائج. وعلى الرغم من النجاح الكبير الذي حققته العديد من الانموذجات النووية المقترحة في ربط المطيات وتفسير الخواص النووية، الا انها لم تصل الى مرحلة اعتماد أنموذجا" واحدا"، اي نظرية موحدة شاملة تستطيع ان تفسر كل مايخص النوى من تركيب وتفاعلات. ان اهم الانموذجات النووية الاساسية المقترحة لوصف التفاعل بين النيوكليونات والمعمول بها حاليا" هي انموذج القشرة (shell model) وانموذج قطرة السائل (Liquid Drop model) والانموذج الجماعي (collective model). ان كل انموذج من هذه الانموذجات يستند الى مجموعة من الفرضيات وقد يكون مفيدا" في حدود معينة ويستطيع تفسير نطاقا" محددا" من المعطيات التجريبية ولكنه قد يفشل عند تطبيقه على معطيات تقع خارج ذلك النطاق. فمثلا" يعد انموذج القشرة مناسبا" اذا تم افتراض ان التفاعل بين النيوكليونات تفاعل ضعيف، في حين يستخدم انموذج قطرة السائل أو الانموذج الجماعي لوصف التفاعلات القوية بين النيوكليونات. قدم الباحثان (Arima and Iachello) في عام 1974 [1] انموذجا" نوويا" جديدا" سمي بأنموذج البوزونات المتفاعلة (Interacting Boson model)، لقد أعتمد هذا ألانموذج في الكثير من جوانبه على نظرية الزمر (Group Theory) وهو نظاما" من بوزونات S (L= 0) ، d (L = 2) تتفاعل فيما بينها. ولا يميز هذا الانموذج في صيغته الاولى (IBM-1) بين البروتونات والنيوترونات.

النظرية

أن دالة المؤثر الهاملتوني طبقا" الى (IBM-1) يكتب بشكل مؤشرات الفناء والتوليد وكما يلي: [2, 3, 4]

$$\hat{H} = \varepsilon\, \hat{n}_d + a_0(\hat{P}^{+}.\hat{P}) + a_1(\hat{I}.\hat{I}) + a_2(\hat{Q}.\hat{Q}) + a_3(\hat{T}_3.\hat{T}_3) + a_4(\hat{T}_4.\hat{T}_4) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ان ε , a_1 , a_2 ,a_3 , a_4 , a_5 هي اعلومات (parameters) تستخدم في حسابات نموذج IBM-1 لتحديد دالة الهاملتن .

وان:

$$\varepsilon = \varepsilon_d - \varepsilon_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ε = طاقة البوزونات

ε_d = طاقة البوزون نوع - d

ε_s = طاقة البوزون نوع - s

$nd = (\hat{d} \cdot \tilde{\hat{d}})$ = d - مؤشر البوزونات نوع .....(3)

$\hat{P} = \frac{1}{2}(\hat{\tilde{d}} \times \hat{\tilde{d}})\frac{1}{2}(\hat{\tilde{S}} \times \hat{\tilde{S}}) \equiv$ مؤشر ازدواج البوزونات ..... (4)

$\hat{I} = \sqrt{10}\left[\hat{d}^{+} \times \hat{d}^{\sim}\right]^{(1)} \equiv$ مؤشر الزخم الزاوي ..... (5)

$\hat{Q} = \left[\hat{d}^{+} \times \hat{s}^{\sim} + \hat{s}^{+} \times \hat{d}^{\sim}\right] - \frac{\sqrt{7}}{2}\left[\hat{d}^{+} \times \hat{d}^{\sim}\right]^{(2)} \equiv$ مؤشر رباعي القطب ..... (6)

$\hat{T}_3 = \left[\hat{d}^{+} \times \hat{d}^{\sim}\right]^{(3)} \equiv$ مؤشر ثماني الاقطاب ..... (7)

$\hat{T}_4 = \left[\hat{d}^{+} \times \hat{d}^{\sim}\right]^{(4)} \equiv$ مؤشر سادس عشري القطب ..... (8)

حيث ان مؤشرات التوليد ($\hat{s}^{+}, \hat{d}^{+}$) ومؤشرات الفناء ($\hat{s}^{+}, \hat{d}^{+}$) تستخدم بشكل متوافق مع قواعد التبادل (Commutation relations) [3, 2].

حيث ان :

$$\tilde{d}_{jm} = (-1)^{j-m} d_{j,-m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

$$\left.\begin{aligned} &\left[\hat{s}, \hat{s}^{+}\right] = 1; \left[\hat{s}, \hat{s}\right] = \left[\hat{s}^{+}, \hat{s}^{+}\right] = 0 \\ &\left[\hat{d}_{\mu}, \hat{d}_{\mu'}^{+}\right] = \delta_{\mu\mu'}; \left[\hat{d}_{\mu}, \hat{d}_{\mu'}\right] = \left[\hat{d}_{\mu}^{+}, \hat{d}_{\mu}^{+}\right] = 0 \\ &\left[\hat{s}, \hat{d}_{\mu}\right] = \left[\hat{s}, \hat{d}_{\mu}^{+}\right] = \left[\hat{s}^{+}, \hat{d}_{\mu}\right] = 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

التناظر الديناميكي Su (3)

ان دالة الهاملتن لهذا التناظر الديناميكي بالامكان كتابتها بدلالة مؤثرات التوليد والفناء وفقا" للمعادلة التالية[1,5] :

$$\hat{H} = a_1\{\hat{I}.\hat{I}\} + a_2\{\hat{Q}.\hat{Q}\} \quad \text{.....(11)}$$

التناظر الديناميكي الدوراني يمثل بواسطة المجموعة الثانوية Su (3) واعدادها الكمية التي يصنعها هذا لتناظر بالإمكان ان توصف بواسطة خاصية التقطير (diagonal attribute)

$$\begin{array}{cccccc} U(6) & \supset & Su(3) & \supset O(3) & \supset O(2) \\ \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ [N] & & (\lambda,\mu)\tilde{}\chi & I & M_I \end{array} \quad \text{.....(12)}$$

حيث ان [N] تمثل العدد البوزوني الكلي : $(N=N\pi+N\gamma)$

القيم (λ, μ) موجودة في كل [N] وتعطى بواسطة [5, 6] :

$$[N] = (2N,0)$$

$$\oplus (2N-4,2) \oplus (2N-8,4) \oplus \ldots\ldots\ldots \oplus \left\{ \begin{matrix} (0,N) \\ 2,N-1 \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} if & N = even \\ if & N = odd \end{matrix} \right\}$$

$$\oplus (2N-6,0) \oplus (2N-10,2) \oplus \ldots\ldots\ldots \oplus \left\{ \begin{matrix} (0,N-3) \\ (2,N-4) \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} if & N-3 = even \\ if & N-3 = add \end{matrix} \right\} \quad \text{.....(13)}$$

$$\oplus (2N-12,0) \oplus (2N-16,2) \oplus \ldots\ldots\ldots \oplus \left\{ \begin{matrix} (0,N-6) \\ (0,N-7) \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} if & N-6 = even \\ if & N-6 = odd \end{matrix} \right\}$$

$$\mu = 0, 2, 4, \ldots..$$

χ = 0, 2, 4, ……, min (λ, μ) ..... (14)

For χ = 0 the values I = 0, 2, 4 ……, max (λ, μ) ..... (15)

And for $\chi > 0$ I = χ , χ + 1, χ + 2, … χ + max (λ, μ) ..... (16)

الحسابات والنتائج

لقد تم تحديد التناظر الذي تنتمي اليه النظائر Dy (A = 156 ,158 ,166) من خلال حساب قيم نسب الطاقة :

$$E(4_1^+) / E(2_1^+),\ E(6_1^+) / E(2_1^+),\ E(8_1^+) / E(2_1^+)$$

وقد لوحظ من هذه الحسابات ان النظائر اعلاه تنتمي الى التناظر Su (3) ومن الجدير بالذكر ان النسب النموذجية لـ $E(4_1^+) / E(2_1^+)$ التي تحدد نوع التناظر هي عندما تكون نسبة $E(4_1^+) / E(2_1^+)$ تساوي (2) يكون التناظر اهتزازي (U (5 واذا كانت (2.5) يكون التناظر هو كَاما غير المستقرة (تناظر انتقالي) واذا كانت النسبة تساوي 3.3

فأن التناظر يكون دوراني Su(3) أما النسب النموذجية لكل من $E(6_1^+) / E(2_1^+)$, $E(8_1^+) / E(2_1^+)$ فموضحة في الجدول (1) والجدول(2) يوضح القيم النموذجية لهذه النسب التي تحدد نوع التناظر .

جدول 1 : مقارن بين نسب الطاقة العملية والنظرية لكل من **$E(4_1^+) / E(2_1^+)$, $E(6_1^+) / E(2_1^+)$, $E(8_1^+) / E(2_1^+)$**

Isotopes	$E(4_1^+) / E(2_1^+)$		$E(6_1^+) / E(2_1^+)$		$E(8_1^+) / E(2_1^+)$	
	EXP.	IBM-1 (PW)	EXP	IBM-1 (PW)	EXP	IBM-1 (PW)
$_{90}{}^{156}_{66}Dy$	2.93	3.34	5.58	7.01	8.81	12.01
$_{92}{}^{158}_{66}Dy$	3.26	3.31	6.68	6.94	11.1	11.3
$_{94}{}^{160}_{66}Dy$	3.2	3.34	6.44	2.01	10.55	11.99

جدول 2: يوضح القيم النموذجية لنسب$E(4_1^+) / E(2_1^+)$, $E(6_1^+) / E(2_1^+)$, $E(8_1^+) / E(2_1^+)$

Symmetry	$E(4_1^+)/E(2_1^+)$	$E(6_1^+)/E(2_1^+)$	$E(8_1^+)/E(2_1^+)$
U (5)	2	3	4
O (6)	2.5	4.5	7
SU (3)	3.3	7	12

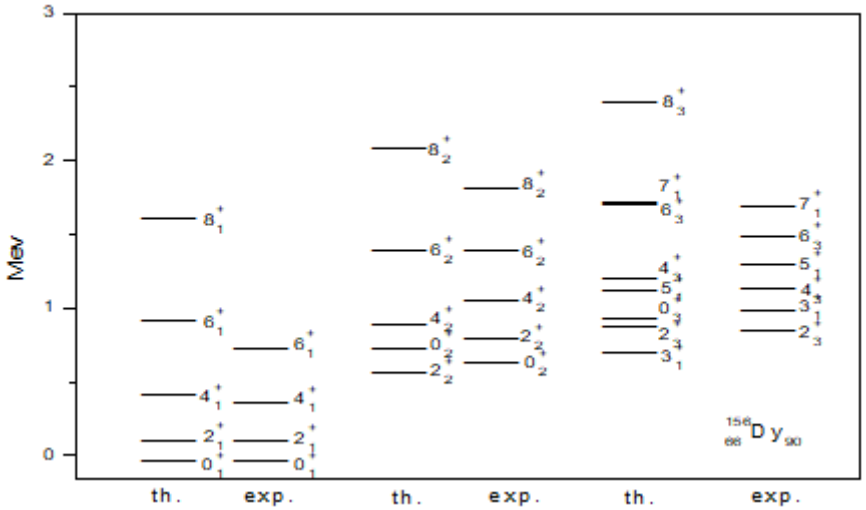
الجدول رقم (3) يبين حساب القيم للمعادلات في معادلة المؤشر الهاملتوني في نموذج البوزونات المتفاعلة IBM-1 باستخدام المعادلة (11) .

جدول 3: القيم المحسوبة لمعلمات المؤشر الهاملتوني للنظائر زوجية – زوجية (^{160}Dy ^{158}Dy ^{156}Dy)

Isotopes	Nπ	Nν	$N_{t0t.}$	I. I	Q. Q	CHI
$_{90}{}^{156}_{66}Dy$	8	4	12	0.0192	-0.0101	0.47
$_{92}{}^{158}_{66}Dy$	8	5	13	0.0122	-0.0113	0.47
$_{94}{}^{160}_{66}Dy$	8	6	14	0.0104	-0.0119	0.47

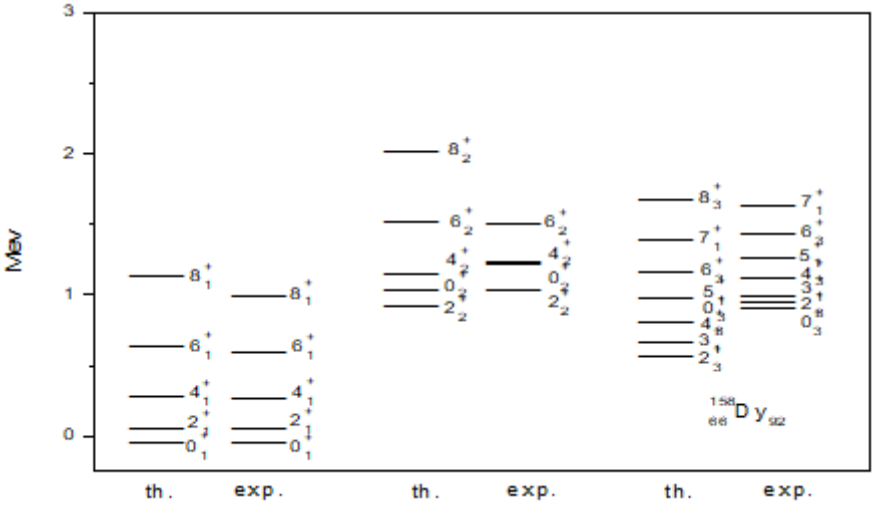
وقد تم في هذا البحث استخدام نموذج البوزونات المتفاعلة الاول IBM-1 لحساب التركيب النووي لنظائر ($_{94}{}^{160}_{66}Dy$ ، $_{92}{}^{158}_{66}Dy$, $_{90}{}^{156}_{66}Dy$) ذات التناظر الدوراني Su(3) حيث تم حساب مستويات الطاقة (δ, β, α) للنظائر اعلاه. أن مستويات الطاقة التي تم حسابها باستخدام نموذج IBM-1 تم مقارنتها مع النتائج العملية المتوفرة . ان هذه القيم قد اعطتنا توافقا" جيدا" مع القيم العملية.

الاشكال 1 , 2 , 3 تبين مستويات الطاقة العملية والنظرية للنظائر: (^{160}Dy ^{158}Dy ^{156}Dy) .



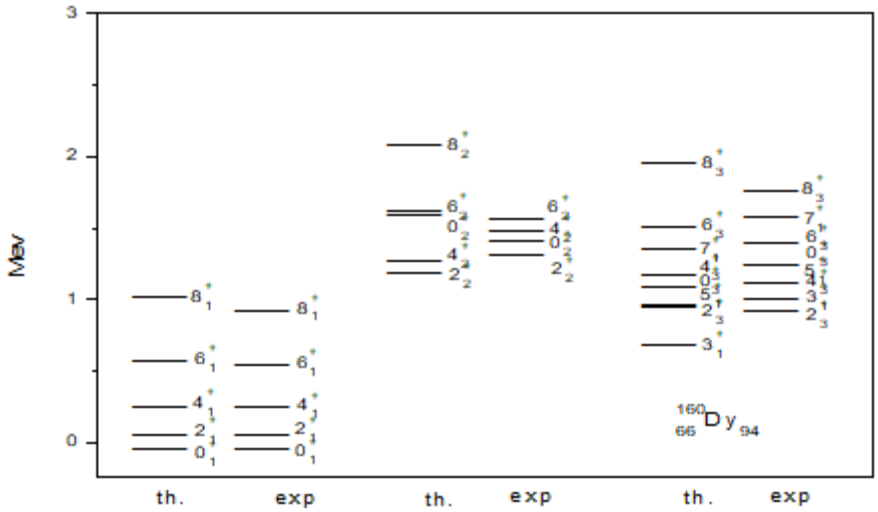
g-band **β-band** **ϰ-band**

شكل 1: مستويات الطاقة المحسوبة بالمقارنة مع المستويات العملية للنظير ^{156}Dy [7]



g-band **β-band** **ϰ-band**

شكل 2: مستويات الطاقة المحسوبة بالمقارنة مع المستويات العملية للنظير ^{158}Dy [7]



g-band **β-band** **ϰ-band**

الشكل 3: مستويات الطاقة المحسوبة بالمقارنة مع المستويات العملية للنظير ^{160}Dy [7]

الاستنتاجات

1. أن استخدام النموذج (IBM-1) لحساب مستويات الطاقة للنظائر (^{156}Dy , ^{158}Dy, ^{160}Dy) قد اعطى توافقا" جيدا" مع القيم العملية .
2. أن جميع البوزونات البروتونية والنيوترونية للنظائر اعلاه تحسب بواسطة ازواج الجسيمات (pairs of particles)
3. أن عدد البروتونات في النظائر (156Dy , 158Dy, 160Dy) هو 66 حيث ان هذا العدد من البروتونات هو بالضبط في المنتصف بين عددين سحريين (50, 82). أن هذا العدد يؤدي الى ان يكون هذا النوع من النظائر اقل استقرارا" من النظائر القريبة من الاعداد السحرية وبالتالي نلاحظ ان جميع مستويات الطاقة للحزم α , β , δ ولجميع النظائر اعلاه هي اقل من 2.5 MeV.
4. في النظائر (156Dy 158Dy 160Dy) كلما زاد عدد النيوترونات ابتعد العدد النيوتروني عن العدد السحري (82) ، وبالتالي فأن مستويات الطاقة تقل فيها كلما ابتعد النظير عن العدد السحري اي تقل استقرارية النظير.
5. من خلال حساب نسب مستويات الطاقة E(21+) / E(81+) , E(21+) / E(61+) , E(21+) / E(41+) للنظائر اعلاه نلاحظ ان هذه النظائر تعود للتناظر الدوراني Su(3).

References

1. Arima, A. and Iachello , F, Boson Symmetries in Vibrational nuclei , phys . Lett . B, Vol . 53 , 309 (1974)
2. Casten R. F. and warner D.D : Rev . mod . phys . 60 , 391 (1988).
3. Arima , A . and Iachello , F : Interacting Boson model . Ed Ichello F. , pub . university of Cambridge , England . pp . 3- 236 (1987) .
4. Bonatsos, D. ((Interacting Boson models of nuclear Structure)) , Clarendon press Oxford , (1988).
5. Casten , R.F and warner , D.D Interacting Bosons .
6. Dennis Bonatsos , E. A . mccutchan , R.F. Casten , phys. Rev. Lett . 104 , 022502 (2010).
7. NDS ENSDF for the experimental data .