

## التوزيع الزاوي وحساب نسب الخلط المتعدد الأقطاب للانتقالات

الكامية في النظير  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  المتولدة من التفاعل

$^{58}_{28}\text{Ni}_{30} (p, \gamma) ^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  باستخدام طريقة نسبة  $a_2$ -

( $a_2$ -Ratio) وطريقة الثابت الإحصائي التنسوري (CST)

أ.م.د. سفرة معيلف الشمري

الجامعة المستنصرية-كلية التربية الأساسية

### المستخلص:

استخدم في هذا البحث طريقة نسبة  $a_2$  وطريقة الثابت الإحصائي التنسوري (CST) لحساب نسب الخلط لانتقالات كما بين مستويات الطاقة للنظير  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  المتولدة من التفاعل النووي  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30} (p, \gamma) ^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  ولـ 28 انتقال كامي ولأول مرة، حيث أكدت النتائج التي تم الحصول عليها صحة هذه الطريقة في حساب نسب الخلط وإمكانيتها على التنبؤ بوجود أي خطأ في القياسات التجريبية.

تم مقارنة النتائج مع القيم العملية المتوفرة فكانت متوافقة بشكل جيد جداً في أغلبها. ان بعض قيم نسب الخلط التي تم حسابها بهذه الطريقة كانت مقبولة ضمن مدى القياسات العملية كالانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)$  ذو الطاقة (5970 keV).

### *Angular Distribution and Calculation of Multipole Mixing Ratios For Gamma-Transitions of $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$ Isotope Populated from $^{58}_{28}\text{Ni}_{30} (p, \gamma) ^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$ Reaction using $a_2$ -Ratio and (CST) Methods*

#### **Abstract:**

The  $\delta$ -mixing ratios of  $\gamma$ -transitions from levels of  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  nuclides populated in the  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30} (p, \gamma) ^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  reaction are calculated in the present work using  $a_2$ -ratio and (CST) methods.

The results obtained confirm the validities of these methods in calculating the  $\delta$ -values of  $\gamma$ -transitions and their capabilities in predicting any inaccuracies in the experimental data.

Most of our results are in excellent agreement with experimental data. Some of these results are agreement with the range of the experimental data especially for  $\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)$  gamma transition of (5970keV).

In addition,  $\delta$ -values for 28 transitions in  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  are calculated for the first time.

## المقدمة:

في الفيزياء النووية يكون للتفاعلات الكهرومغناطيسية دوراً مهماً لمعرفة التركيب النووي في الدراسات العملية والنظرية لتفاعلات النواة مع المجالات الكهرومغناطيسية [1, 2].

ان النواة المثيجة بسبب اكتسابها طاقة نتيجة تفاعل ما يمكنها التخلص من طاقتها الفائضة ببعث أشعة كاما. وتمتاز هذه الأشعة بكونها أشعة كهرومغناطيسية وحدتها فوتون كما وطاقتها هي الفرق بين طاقتين مستويي النواة قبل وبعد انبعاث الفوتون منها. ان النواة المثيجة وخاصة عند الطاقات الواطئة غالباً ما تفقد طاقتها بطريقة غير طريقة بعث أشعة كاما، حيث ينتقل جزء من طاقة النواة إلى احد الالكترونات في المدار الخارجي، ويحدث ذلك بسبب تفاعل المجال الكهرومغناطيسي الخارجي للنواة مع الالكترونات مسبباً انبعاث الالكترونات من مداره وتتحول النواة نفسها إلى مستوي ذي طاقة اقل وتسمى هذه العملية بعملية التحول الداخلي (Internal Conversion).

عندما تكون طاقة تهيج النواة اكبر من طاقة الاضمحلال لبعث جسيم فان النواة في جميع الأحوال تضمحل عن طريق بعث جسيم، اما إذا كانت هذه الطاقة اقل من طاقة العتبة لبعث جسيم فان الاضمحلال السائد هو عن طريق بعث فوتون كما باننتقال منفرد (Single Transition) أو باننتقالات متعاقبة (Successive Transitions). وهذه الفوتونات ستأخذ من النواة المثيجة مقداراً من الطاقة ومن الزخم الزاوي بحيث ان مقدار الزخم الزاوي والتماثل بين الحالتين الابتدائية ( $I_i^\pi$ ) والنهائية ( $I_f^\pi$ ) يرتبط بمتعدد القطبية (L). ولا يحدث انبعاث للفوتون الا تحت تأثير القوى الكهرومغناطيسية ويصاحبه إعادة توزيع الشحنة الكهربائية في النواة (انتقالات كهربائية -Electric Transitions-) أو العزم المغناطيسي الذاتي وكذلك المداري للنيوكليون (انتقالات مغناطيسية -Magnetic Transitions-)، وفي هذه الحالة لا بد وان يتغير البرم أو مركبته لان كم كما يحمل معه عزم زاوي مقداره  $L\hbar$  وذات قطبية  $2^L$  [3]. ويمكن معرفة نوع الإشعاع فيما اذا كان انتقالاً كهربائياً (EL) او انتقالاً مغناطيسياً (ML) بواسطة التماثل (Parity) حيث ان تغييرها يكون مساوياً إلى  $(-1)^L$  للانتقال الكهربائي و  $(-1)^{L+1}$  للانتقال المغناطيسي [4, 5].

ان حالات التهيج النووي الناتجة عن التفاعلات النووية غالباً ما تكون موجهه (Oriented) بالنسبة إلى محور التكميم (Axis of Quantization) الذي يمثل اتجاه الجسيم الساقط (Bombarding Particle) وبدرجة توجيهية تعتمد على عملية تكوين هذه الحالات من خلال علاقتها بالية التفاعل النووي والخواص النووية. ان قياسات التوزيع الزاوي (Angular Distribution) ضرورية لمعرفة صفات الأشعة المتعددة الاقطاب (Multipolarity) حيث تعتبر دقة هذه المعلومات مهمة في تقييم النماذج النووية ومعرفة اعمار المستويات ودراسة نسب الخلط للاقطاب المتعددة [1, 6].

في عام (1975) قام Green Wood R. G. و Reich C. W. [7] بدراسة مستويات الطاقة لنواة  $^{172}_{70}\text{Yb}_{102}$  المتهيجة نتيجة قصف هذه النواة بمجموعتين من النيوترونات أولها حرارية والأخرى ذات طاقة (2keV) حيث تم في هذه الدراسة ملاحظة أربعة مستويات ذات تماثل سالب ( $0^-, 1^-, 2^-, 3^-$ ) بطاقات (1599, 1154, 1757, 2030) keV على الترتيب.

لقد تم قياس مستويات الطاقة (Energy Levels) والانتقالات الكامية (Gamma Transitions) ومعاملات التوزيع الزاوي (Angular Distribution Coefficients)  $\Delta a_2$  ( $a_2$ ) و  $\Delta a_4$  ( $a_4$ ) ونسب الخلط  $\delta(E2/M1)$  للتفاعل  $^{40}_{18}\text{Ar}_{22}(p, n\gamma)^{40}_{19}\text{K}_{21}$  من قبل Beale D.J وجماعته عام (1979) [8].

درس الباحث Oshima M. وجماعته عام (1989) [9] مستويات الطاقة للتفاعل  $^{173}_{70}\text{Yb}_{103}(\gamma)^{58}_{28}\text{Ni}, ^{58}_{28}\text{Ni}'$  من خلال تهيج كولوم، حيث قصف نواة الهدف يوتربيوم  $^{173}_{70}\text{Yb}_{103}$  بالنيكل  $^{58}_{28}\text{Ni}$  وبطاقة (250MeV) وهذه العملية تؤدي إلى تكوين النواة المتهيجة  $^{173}_{70}\text{Yb}_{130}^*$  والتي تصل إلى حالة الاستقرار ببعث  $^{58}_{28}\text{Ni}_{30}$  وأشعة كاما. وقام بحساب نسب الخلط  $\delta(E2/M1)$  للانتقالات الكامية (Gamma Transitions) للمستويات من  $\left(\frac{25^-}{2}\right)$  إلى المستوى  $\left(\frac{5^-}{2}\right)$  وتم قياس معاملات التوزيع الزاوي (Angular Distribution Coefficients)  $\Delta a_2$  ( $a_2$ ) و  $\Delta a_4$  ( $a_4$ ) لهذه الانتقالات الكامية.

وفي عام (2003) قام الباحث D. Pantelica وجماعته [10] بقياس الزخم المغناطيسي للمستوي ( $I^\pi = \frac{5^+}{2}$ ) ذات الطاقة (151keV) لنواة السيلينيوم  $^{73}_{34,39}\text{Sn}$  باستخدام التوزيع الزاوي.

وفي عام (2005) قام الباحث Ibrahim K. S. وجماعته [11] بحساب نسب الخلط ( $\delta$ ) لانتقالات كاما للتفاعل النووي  $^{172}_{71}\text{Lu}_{101}(\beta^+, \gamma)^{172}_{70}\text{Yb}_{102}$  باستخدام طريقة نسبة  $a_2$  (a<sub>2</sub>-Ratio).

### الأسس النظرية:

ان عملية انتقال أشعة كاما بين مستويات الطاقة المتهيجة تخضع لقواعد انتقاء محددة لذلك فان شروط انبعاث متعدد الاقطاب التي يمكن ان تحدث انتقال كاما بين الحالة الابتدائية ذات البرم ( $I_i$ ) والتماثل ( $\pi_i$ ) والحالة النهائية ذات البرم ( $I_f$ ) والتماثل ( $\pi_f$ ) يجب ان تحقق المعادلة الآتية: [4]

$$I_i = I_f + L \quad \dots (1)$$

وان قيم ( $L$ ) التي تحقق المعادلة رقم (1) هي:

$$|I_i - I_f| \leq L \leq |I_i + I_f| \quad \dots (2)$$

وطبقاً لقواعد التماثل (Parity Rules) فان الإشعاع المتعدد القطب الكهربائي ذو المرتبة ( $L$ ) له تماثل معكوس نسبة إلى اشعاع مغناطيسي له نفس مرتبه متعدد القطبية [12].

حيث ان الاشعاع المتعدد القطب الكهربائي أو المغناطيسي ذو المرتبة ( $L$ ) له تماثل:

$$\pi(E) = \pi_i \times \pi_f = (-1)^L \quad \dots (3)$$

$$\pi(M) = \pi_i \times \pi_f = (-1)^{L+1}$$

ولهذا فان الإشعاع (EL) أو (ML) ذو التماثل الزوجي (الموجب) يكون:

(No change in Parity)  $M1, E2, M3, E4, \dots$  لا يوجد تغير في التماثل

اما الإشعاع (EL) أو (ML) ذو التماثل الفردي (السالب) يكون:

(change in Parity)  $E1, M2, E3, M4, \dots$  يوجد تغير في التماثل

ان احتمالية الانبعاث (probability of Emission) للإشعاع متعدد القطبية

$$(L) \text{ تقل بزيادة } (L) \text{ وبمقدار مساوٍ تقريباً لـ } \left(\frac{R}{\lambda}\right)^{2L} \text{ [13].}$$

وهذا يعني ان:  $E1 > E2 > E3 \dots, M1 > M2 > M3 \dots,$

حيث ( $\lambda$ ) هي الطول الموجي للجسيم الباعث للإشعاع.

(R) تمثل نصف قطر النواة حيث ( $R = 1.2 A^{1/3}$  بوحدات فيرمي)

وبما ان  $R \gg \lambda$  فان الحد  $\left(\frac{R}{\lambda}\right)^{2L}$  يتلاشى عند المراتب العليا لمتعدد القطب (L)

لذلك فان قياس التوزيع الزاوي للانتقالات التي يكون لها متعدد القطب ( $L > 2$ ) يكون صعباً للغاية.

تعرف نسبة الخلط لمتعدد الاقطاب لانتقال كما بانها النسبة بين عناصر المصفوفة المختزلة لرباعي القطب الكهربائي (E2) وعناصر المصفوفة المختزلة لثنائي القطب المغناطيسي (M1) للتماثل الزوجي. أو النسبة بين عناصر المصفوفة المختزلة لرباعي القطب المغناطيسي (M2) وعناصر المصفوفة المختزلة لثنائي القطب الكهربائي (E1) للتماثل الفردي [14].

$$\delta = \frac{\langle I_f \parallel E2 \parallel I_i \rangle}{\langle I_f \parallel M1 \parallel I_i \rangle} \dots (4)$$

يعبر عن التوزيع الزاوي (Angular Distribution) لأشعة كما المنبعثة من

المستوي الابتدائي ( $I_i^\pi$ ) إلى المستوى النهائي ( $I_f^\pi$ ) بالعلاقة الآتية [15]:

$$w(\theta) = \sum_{\text{even } \lambda} a_\lambda Q_\lambda p_\lambda(\cos\theta) \quad (5)$$

$$w(\theta) = \sum_{\text{even } \lambda} \rho_\lambda(I_i) F_\lambda(I_i, I_f, \delta) Q_\lambda p_\lambda(\cos\theta) \quad (6)$$

حيث تمثل  $a_\lambda$ : معاملات التوزيع الزاوي (Angular Distribution Coefficients).

$Q_\lambda$ : معامل التصحيح الهندسي (Geometrical Correction Factor)

ان معامل  $Q_\lambda$  يعتمد على حجم الكاشف ونوع الكاشف وكذلك

المسافة بين المصدر والكاشف وعلى كفاءة الكاشف كدالة لاتجاه الإشعاع

الساقط، وان  $Q_\lambda \leq 1$  [1].

$p_\lambda(\cos\theta)$ : تمثل متعدد حدود ليجندر (Legendre Polynomial).

$\theta$ : الزاوية بين اتجاه أشعة كما ومحور الترصيف (Axis of Alignment) أي

اتجاه الشعاع الساقط (Incident Beam Direction).

$\rho_\lambda(I_i)$ : التنسور الإحصائي (Statistical Tensor) الذي يوضح مقدار الترصيف

(Alignment) للمستوي الابتدائي ( $I_i$ ).

$F_\lambda(I_i I_f \delta)$ : معاملات تحتوي على معلومات عن الزخم الزاوي للمستويين الابتدائي ( $I_i$ ) والنهائي ( $I_f$ ) ونسبة خلط متعددة الأقطاب ( $\delta$ ) ويمكن التعبير عنها بالعلاقة الآتية [16]:

$$F_\lambda(I_i I_f \delta) = \frac{F_\lambda(I_f L L I_i) + 2\delta F_\lambda(I_f L L' I_i) + \delta^2 F_\lambda(I_f L' L' I_i)}{(1 + \delta^2)} \quad (7)$$

معاملات تعتمد على الزخم الزاوي لكل انتقال.  $F_\lambda(I_f L' L' I_i), F_\lambda(I_f L L' I_i), F_\lambda(I_f L L I_i)$

ومن المعادلات (5) و(6) و(7) يمكننا الحصول على معاملات التوزيع الزاوي ( $a_\lambda$ ) بالعلاقة الآتية [16]:

$$a_\lambda(I_i \rightarrow I_f) = \rho_\lambda(I_i) \frac{F_\lambda(I_f L L I_i) + 2\delta F_\lambda(I_f L L' I_i) + \delta^2 F_\lambda(I_f L' L' I_i)}{(1 + \delta^2)} \quad (8)$$

### 1- طريقة نسبة- $a_2$ $a_2$ -Ratio Method

يمكن حساب ( $\delta$ ) نسبة الخلط لمتعدد الأقطاب باستخدام طريقة نسبة- $a_2$  حيث ان هذه الطريقة تعتمد فقط على معاملات التوزيع الزاوي ( $a_2$ -Coefficients) لاي انتقالين لكما من نفس المستوي الابتدائي ( $I_i$ ) والتي يكون فيها احد الانتقالين نقي (Pure) حيث  $\delta=0$  أو نفترضه نقي.

حيث ان معاملات التوزيع الزاوي العملية للانتقال النقي (Pure Transition) من المستوي الابتدائي تعطي بالعلاقة الآتية [16]:

$$a_2(I_i \rightarrow I_{f_1}) = \rho_2(I_i) F_2(I_{f_1} L L I_i) \quad (9)$$

والانتقالات المخلوطة (Mixed Transitions) المنبعثة من نفس المستويات فان  $a_2(I_i \rightarrow I_{f_2})$  تعطي بالعلاقة الآتية [15, 17]:

$$a_2(I_i \rightarrow I_{f_2}) = \rho_2(I_i) \frac{F_2(I_{f_2} L L I_i) + 2\delta F_2(I_{f_2} L L' I_i) + \delta^2 F_2(I_{f_2} L' L' I_i)}{(1 + \delta^2)} \quad (10)$$

حيث ان الثابت الإحصائي التتسوري  $\rho_2(I_i)$  هو نفسه للانتقالين ولهذا السبب فان قيم نسب الخلط ( $\delta$ ) للانتقالات الأخرى نستطيع حسابها من النسبة بين معاملات التوزيع الزاوي ( $a_2$ -Coifficffents) العملية لاي انتقال إلى الانتقال الذي يكون نقياً (Pure) أو الانتقال الذي نفرضه نقياً وحسب العلاقة الآتية:

$$\frac{a_2(I_i \rightarrow I_{f_2})}{a_2(I_i \rightarrow I_{f_1})} = \frac{F_2(I_{f_2} L L I_i) + 2\delta F_2(I_{f_2} L L' I_i) + \delta^2 F_2(I_{f_2} L' L' I_i)}{F_2(I_{f_1} L L I_i)(1 + \delta^2)} \quad (11)$$

ان هذه الطريقة اخذت بعين الاعتبار القيم العملية لمعاملات التوزيع الزاوي والتي نحصل عليها من تحديد ومعرفة كل الانتقالات الكامية للتفاعل المختار في العمل الحالي [18].

## 2- طريقة الثابت الاحصائي التنسوري

### Constant Statistical Tensor (CST) Method

ان هذه الطريقة تعتمد على كثافة المعلومات للحالات الثانوية المغناطيسية (Magnetic substates population parameters - $p(m_i)$ ) للمستويات التي لها نفس قيم البرم الزاوي المحدد التي لا تعتمد على طاقة المستويات ولا على التماثل [19] (Parity). حيث ان معاملات التنسور الاحصائي (Statistical Tensor) لكثافة المعلومات للحالات الثانوية المغناطيسية  $\rho_\lambda(I_i)$  تكون أيضاً ثابتة لنفس قيم  $(I_i)$  ولا تعتمد على الطاقة ولا على التماثل (Parity) [17].

$$\rho_\lambda(I_i) = \sum_{\substack{m_i=0 \\ \text{or}=1/2}}^{I_i} \rho_\lambda(I_i, m_i) p(m_i) \quad (12)$$

حيث

$$\sum_{m_i=-I_i}^{I_i} p(m_i) = 1 \quad (13)$$

ان هذه الطريقة تعتمد على شرطين أساسيين:

1- نفترض جميع الانتقالات نقية أي لا توجد نسبة خلط وذلك باخذ  $\delta=0$  عند استخدام معادلة رقم (8) وبذلك تصبح المعادلة بالشكل الآتية:

$$\rho_2(I_i) = \frac{a_2(I_i - I_f)}{F_2(I_f, L I_i)} \quad (14)$$

2- قيم نسب الخلط العملية لكل انتقال كامي يتم حسابها نظرياً باستخدام المعادلة رقم (8) وذلك باستخدام المعدل الموزون (Weighted average) لقيم  $\rho_2(I_i)$  المحسوبة.

### المناقشة والاستنتاجات:

#### 1- طريقة نسبة $a_2$ -Ratio Method

في العمل الحالي تم تحليل نتائج التوزيع الزاوي لانتقالات كما في مرحلة الترصيف وحساب نسب الخلط في تلك المرحلة باستخدام طريقة نسبة  $a_2$  (a<sub>2</sub>-Ratio).

ان هذه الطريقة تعتمد على شرطين هما:

1- ان يكون على الأقل انتقالين لكما من نفس مستوي الطاقة الابتدائية ( $I_i$ ) [أي الانبعاث من نفس المستوي ( $I_i$ ) إلى مستويات مختلفة ل ( $I_f$ )].

2- يجب ان يكون احد هذه الانتقالات الكامية نقياً أو يفترض ان يكون نقياً.

ان حساب نسبة  $a_2$  ( $a_2$ -Ratio) تعتمد اعتماداً كلياً على الزخم الزاوي  $LL, LL'$  لتعاقب البرم ( $I_f$ ) → ( $I_i$ ) لكل انتقال من الانتقالات الكامية وعلى معاملات  $F_2$  وعلى معاملات التوزيع الزاوي ( $a_2(\Delta a_2)$ ) لكل انتقال. أي ان طريقة نسبة  $a_2$  لا تعتمد على طاقات المستويات ولا على طاقات كما ولا على التماثل.

الشكل (1) يبين المخطط الانحلالي (Decay Scheme) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  الناتجة من



الجدول (1) يحتوي على قيم طاقة المستوي، طاقة انتقالات كما، التعاقبات البرمية

ومعاملات التوزيع الزاوي ( $a_2(\Delta a_2)$ ) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$ .

الجدول (2) يبين المعادلات الأساسية اللازمة لحساب نسب الخلط ( $\delta$ -Mixing

Ratio) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  لكل انتقال كامي بدلالة معاملات  $F_2$  والقيم العملية لمعاملات التوزيع الزاوي لهذا الانتقال والقيم العملية لمعاملات التوزيع الزاوي للانتقال النقي وذلك حسب المعادلة (11).

الجدول (5) يبين نتائج الحسابات التي قمنا بها لقيم نسب الخلط ومقارنتها بالقيم

العملية للانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  [18]، ان نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ -Mixing Ratio) الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  بهذه الطريقة قد تم الحصول عليها باستخدام المعادلة (11)، حيث حصلنا على ما يأتي:

- ان اغلب الانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  تكون فيها حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) (احد الحلين لها) متوافقة بشكل جيد جداً مع القياسات العملية [18].

- ان بعض الانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  تكون فيها نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) مقبولة مع القياسات العملية [18] لوقوع القياسات العملية ضمن الحلين لنتائج الحسابات وهذا الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$  ذو الطاقة (4814 keV).

- ان توافق نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) لهذا الانتقال الكامي ضمن الحلين يعزى إلى السببين الآتيين:



أ- التقريبات الإحصائية المستخدمة في العمل الحالي.

ب- عدم الدقة في القياسات العملية لقيم نسب الخلط ( $\delta$ ) لهذا الانتقال الكامي.

ان بعض الانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  تكون فيها نتائج حسابات الخلط ( $\delta$ )

مقبولة ضمن نسب الخطأ مع نتائج القياسات العملية وهذا الانتقال هو:

$$1- \text{الانتقال الكامي } \left(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}\right) \text{ ذو الطاقة } 4498 \text{ keV.}$$

$$2- \text{الانتقال الكامي } \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right) \text{ ذو الطاقة } 5970 \text{ keV.}$$

2- استخدام طريقة الثابت الاحصائي التنسوري (CST)

ان الانتقالات الكامية المبينة في الشكل (1) للمخطط الانحلالي (Decay

scheme) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  قد تم استخدامها في العمل الحالي لما يرافقها من قيم عملية

لمعاملات التوزيع الزاوي ( $a_2(\Delta a_2)$ ).

ان الحسابات القائمة على المعادلة (14) لحساب  $\rho_2(I_i)$  قد تم جدولتها في الجدول

$$(3) \text{ للنواة } ^{59}_{29}\text{Cu}_{30}.$$

يتم حساب المعدل الموزون (Weighted average) لقيم  $\rho_2(I_i)$  المحسوبة وذلك

باستخدام المعادلة الآتية:

$$\text{Weighted Average} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{(\Delta X_i)^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(\Delta X_i)^2}} \quad (15)$$

$$\text{Error} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(\Delta X_i)^2} \quad (16)$$

حيث

$X_i$ : هي قيم  $\rho_2(I_i)$ .

$\Delta X_i$ : هي الخطأ على القراءة  $\rho_2(I_i)$ .

بعدها تم حساب نسب الخلط ( $\delta$ -mixing Ratio) باستخدام العلاقة (8) والتي تم

جدولتها في الجدول (4).

الجدول (5) يبين نتائج الحسابات قيم نسب الخلط ( $\delta$ ) للانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  ومقارنتها مع القيم العملية المتوفرة. حيث يبين الجدول (5) حسابات الثابت الاحصائي التنسوري  $\rho_2(I_i)$  بطريقة (CST) وكذلك نتائج حسابات المعدل الموزون. ويمكن مناقشة نتائج حسابات قيم نسب الخلط ( $\delta$ ) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  ومقارنتها مع النتائج العملية [18] بالشكل الاتي:

أولاً: ان اغلب الانتقالات لكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  تكون فيها نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) (احد الحلين لها) لها متوافقة بشكل جيد جداً مع القياسات العملية [18]. ثانياً: ان بعض الانتقالات الكامية فيها نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) مقبولة مع القياسات العملية لوقوع القياسات ضمن الحلين لنتائج الحسابات وهذه الانتقالات الكامية هي:

1- الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)$  ذو الطاقة (6448 keV).

2- الانتقال الكامي  $\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)$  ذو الطاقة (3816 keV).

ان عدم التوافق في نتائج حسابات نسب الخلط ( $\delta$ ) في بعض الانتقالات الكامية مع القياسات العملية ناتج من ان التقريبات الاحصائية غير متوافقة مع هذه الانتقالات والتي كانت كالآتي:

1- الانتقال الكامي  $\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)$  ذو الطاقة (5437 keV).

2- الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$  ذو الطاقة (6843 keV).

3- الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$  ذو الطاقة (8077 keV).

4- الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$  ذو الطاقة (8223 keV).

5- الانتقال الكامي  $\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)$  ذو الطاقة (8259 keV).

ومن الجدير بالذكر ان هنالك انتقال كامي لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  التي تم حسابها بالطريقتين لم يتم مقارنة نتائج الحسابات النظرية الحالية مع النتائج العملية لعدم توفر القياسات العملية لها.

وهذا الانتقال الكامي هو  $\left(\frac{9}{2}-\frac{5}{2}\right)$  ذو الطاقة (6206 keV).

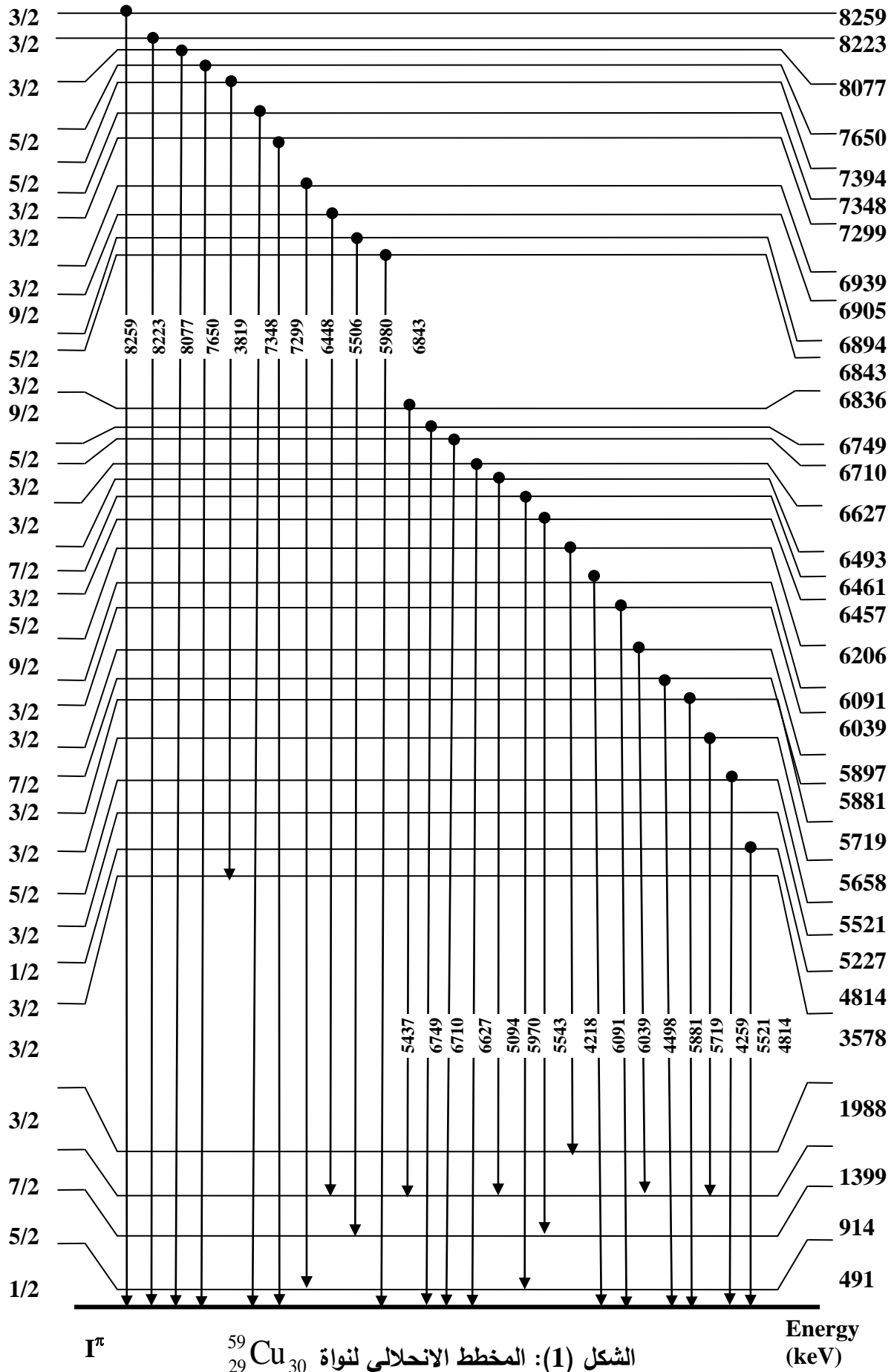
ففي الجدول (5) عند مقارنة قيم نسب الخلط ( $\delta$ ) للانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$

بطريقتين نسبة- $a_2$  و CST مع القيم العملية للمصدر [18] تم التوصل إلى ان طريقة نسبة

- $a_2$  هي الافضل من حيث النتائج وسهولة التطبيق.

ملاحظة: ليس هنالك قيم للتماثل في المصدر [18].

التوزيع الزاوي وحساب نسب الخط المتعدد الأقطاب ..... أ.م.د.سفرة معيلف الشمري



$I^\pi$

$^{59}\text{Cu}_{30}$

الشكل (1): المخطط الانحلالي لنواة

Energy (keV)

التوزيع الزاوي وحساب نسب الخط المتعدد الأقطاب ..... أ.م.د.سفرة معيلف الشمري

الجدول (1): طاقة المستوي، طاقة الانتقالات الكامية، التعاقبات البرمية ومعاملات والتوزيع

الزاوي  $a_2(\Delta a_2)$  لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$

$E_i$ (keV)	$E_\gamma$ (keV)	$I_i^\pi$	$I_f^\pi$	L	L'	$a_2(\Delta a_2)$	$a_2(I_i^\pi - I_f^\pi)$	$F_2(I_f L L I_i)$	$F_2(I_f L L' I_i)$	$F_2(I_f L' L' I_i)$
4814	4814	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.47(2)	$0.47 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
5521	5521	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.51(2)	$-0.51 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
5658	4259	$\frac{5}{2}$	$\frac{7}{2}$	1	2	-0.19(4)	$-0.19 \left( \frac{5}{2} - \frac{7}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{11}{2} \frac{5}{2} \right) = 0.13363$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{12}{2} \frac{5}{2} \right) = 0.69437$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{22}{2} \frac{5}{2} \right) = 0.32453$
5719	5719	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.04(5)	$0.04 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
5881	5881	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.40(9)	$0.40 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
5897	4498	$\frac{7}{2}$	$\frac{7}{2}$	1	2	0.43(5)	$0.43 \left( \frac{7}{2} - \frac{7}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{11}{2} \frac{7}{2} \right) = -0.43644$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{12}{2} \frac{7}{2} \right) = -0.37797$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{22}{2} \frac{7}{2} \right) = 0.2493$ 9
6039	6039	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.11(4)	$0.11 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
6091	6091	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.01(4)	$-0.01 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
6206	4218	$\frac{9}{2}$	$\frac{5}{2}$	2	3	-0.34(15)	$-0.34 \left( \frac{9}{2} - \frac{5}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{22}{2} \frac{9}{2} \right) = -0.43252$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{23}{2} \frac{9}{2} \right) = 0.54554$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{33}{2} \frac{9}{2} \right) = 0.41287$
6457	5543	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{2}$	1	2	0.36(7)	$0.36 \left( \frac{5}{2} - \frac{5}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{11}{2} \frac{5}{2} \right) = -0.42762$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{12}{2} \frac{5}{2} \right) = -0.50709$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \frac{22}{2} \frac{5}{2} \right) = 0.19090$
6461	5970	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2	0.89(21)	$0.89 \left( \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{1}{2} \right) = 0.5000$ 0	$F_2 \left( \frac{1}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.86603$	$F_2 \left( \frac{1}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.50000$
6493	5094	$\frac{7}{2}$	$\frac{7}{2}$	1	2	0.40(8)	$0.40 \left( \frac{7}{2} - \frac{7}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{11}{2} \frac{7}{2} \right) = -0.43644$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{12}{2} \frac{7}{2} \right) = -0.37797$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \frac{22}{2} \frac{7}{2} \right) = 0.2493$ 9
6627	6627	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.37(2)	$0.37 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
6710	6710	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.38(3)	$0.38 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{11}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{12}{2} \frac{3}{2} \right) = -0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \frac{22}{2} \frac{3}{2} \right) = 0.0000$

التوزيع الزاوي وحساب نسب الخط المتعدد الأقطاب ..... أ.م.د.سفرة معيلف الشمري

6749	6749	$\frac{5}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.02(2)	$0.02 \left( \frac{5}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{5}{2} \right) = 0.37417$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{5}{2} \right) = 0.94869$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{5}{2} \right) = 0.19090$
6836	5437	$\frac{9}{2}$	$\frac{7}{2}$	1	2	-0.36(5)	$-0.36 \left( \frac{9}{2} - \frac{7}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 11 \frac{9}{2} \right) = 0.30277$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 12 \frac{9}{2} \right) = 0.93542$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 33 \frac{9}{2} \right) = 0.01966$
6843	6843	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.20(2)	$-0.20 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
6894	5980	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{2}$	1	2	-0.15(14)	$-0.15 \left( \frac{5}{2} - \frac{5}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 11 \frac{5}{2} \right) = 0.42762$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 12 \frac{5}{2} \right) = 0.50709$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 22 \frac{5}{2} \right) = 0.19090$
6905	5506	$\frac{9}{2}$	$\frac{7}{2}$	1	2	-0.32(8)	$-0.32 \left( \frac{9}{2} - \frac{7}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 11 \frac{9}{2} \right) = 0.30277$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 12 \frac{9}{2} \right) = 0.93542$	$F_2 \left( \frac{7}{2} \ 22 \frac{9}{2} \right) = 0.01966$
6939	6448	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	2	-0.01(13)	$-0.01 \left( \frac{3}{2} - \frac{1}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{1}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.50000$	$F_2 \left( \frac{1}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.86603$	$F_2 \left( \frac{1}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.50000$
7299	7299	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	0.07(4)	$0.07 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
7348	7348	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.24(8)	$-0.24 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
7394	3816	$\frac{5}{2}$	$\frac{5}{2}$	1	2	0.57(6)	$0.57 \left( \frac{5}{2} - \frac{5}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 11 \frac{5}{2} \right) = 0.42762$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 12 \frac{5}{2} \right) = 0.50709$	$F_2 \left( \frac{5}{2} \ 22 \frac{5}{2} \right) = 0.19090$
7650	7650	$\frac{5}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.63(5)	$-0.63 \left( \frac{5}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{5}{2} \right) = 0.37417$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{5}{2} \right) = 0.94869$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{5}{2} \right) = 0.19090$
8077	8077	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.59(4)	$-0.59 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
8223	8223	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.56(3)	$-0.56 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$
8259	8259	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	1	2	-0.43(15)	$-0.43 \left( \frac{3}{2} - \frac{3}{2} \right)$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 11 \frac{3}{2} \right) = 0.40000$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 12 \frac{3}{2} \right) = 0.77460$	$F_2 \left( \frac{3}{2} \ 22 \frac{3}{2} \right) = 0.0000$

الجدول (2): طاقة المستوي وطاقة الانتقالات الكامية ونسبة  $a_2$  (a<sub>2</sub>-Ratio) لحساب

نسب الخلط ( $\delta$ -Mixing Ratio) لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  باستخدام المعادلة (11).

$E_i$ (keV) Ref. [18]	$E_\gamma$ (keV) Ref. [18]	$\frac{a_2(I_i^\pi - I_{f_2}^\pi)}{a_2(I_i^\pi - I_{f_1}^\pi)} = \frac{F_2(I_{f_2} L L I_i) + 2\delta F_2(I_{f_2} L L' I_i) + \delta^2 F_2(I_{f_2} L' L' I_i)}{F_2(I_{f_1} L L I_i)(1 + \delta^2)}$
4814 5521	4814 5521	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
5521 4814	5521 4814	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
5658 6457	4259 5543	$\frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{7}{2}\right)}{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)} = \frac{0.13363 + 1.38874\delta + 0.32453\delta^2}{-0.42762(1 + \delta^2)}$
5719 5881	5719 5818	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
5881 5719	5818 5719	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
5897 6493	4498 5094	$\frac{a_2\left(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}\right)}{a_2\left(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}\right)} = \frac{-0.43644 - 0.75594\delta + 0.24939\delta^2}{-0.43644(1 + \delta^2)}$
6039 6091	6039 6091	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
6091 6039	6091 6093	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
6206 6836	4218 5437	$\frac{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{5}{2}\right)}{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)} = \frac{-0.43252 - 1.09108\delta - 0.41287\delta^2}{0.30277(1 + \delta^2)}$
6457 5658	5543 4259	$\frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)}{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{7}{2}\right)} = \frac{-0.42762 - 1.0148\delta + 0.1909\delta^2}{0.13363(1 + \delta^2)}$

<b>6461</b> <b>6627</b>	5970 6627	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{0.50000 - 1.173206\delta + 0.50000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
<b>6493</b> <b>5897</b>	5094 4498	$\frac{a_2\left(\frac{7}{2}-\frac{7}{2}\right)}{a_2\left(\frac{7}{2}-\frac{7}{2}\right)} = \frac{-0.43644 - 0.75594\delta + 0.24939\delta^2}{-0.43644(1 + \delta^2)}$
<b>6627</b> <b>6461</b>	6627 6461	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{0.50000(1 + \delta^2)}$
<b>6710</b> <b>6843</b>	6710 6843	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
<b>6749</b> <b>6894</b>	6749 5980	$\frac{a_2\left(\frac{5}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{5}{2}-\frac{5}{2}\right)} = \frac{0.37417 - 1.89738\delta + 0.19090\delta^2}{-0.42762(1 + \delta^2)}$
<b>6836</b> <b>6905</b>	5437 5506	$\frac{a_2\left(\frac{9}{2}-\frac{7}{2}\right)}{a_2\left(\frac{9}{2}-\frac{7}{2}\right)} = \frac{0.30277 - 1.87084\delta - 0.01966\delta^2}{0.30277(1 + \delta^2)}$
<b>6843</b> <b>6710</b>	6843 6710	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
<b>6894</b> <b>6749</b>	5980 6749	$\frac{a_2\left(\frac{5}{2}-\frac{5}{2}\right)}{a_2\left(\frac{5}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.42762 - 1.0148\delta + 0.19090\delta^2}{0.37417(1 + \delta^2)}$
<b>6905</b> <b>6836</b>	5506 5437	$\frac{a_2\left(\frac{9}{2}-\frac{7}{2}\right)}{a_2\left(\frac{9}{2}-\frac{7}{2}\right)} = \frac{0.30277 - 1.87084\delta - 0.01966\delta^2}{0.30277(1 + \delta^2)}$
<b>6939</b> <b>7299</b>	6448 7099	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{0.50000 - 1.173206\delta + 0.50000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
<b>7299</b> <b>6939</b>	7299 6448	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{0.50000(1 + \delta^2)}$
<b>7348</b> <b>8077</b>	7348 8077	$\frac{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)}{a_2\left(\frac{3}{2}-\frac{3}{2}\right)} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.0000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$



7394 7650	3816 7650	$\frac{a_2(\frac{5}{2} - \frac{5}{2})}{a_2(\frac{5}{2} - \frac{3}{2})} = \frac{-0.42762 - 1.0148\delta + 0.19090\delta^2}{0.37417(1 + \delta^2)}$
7650 7394	7650 3816	$\frac{a_2(\frac{5}{2} - \frac{3}{2})}{a_2(\frac{5}{2} - \frac{5}{2})} = \frac{0.37417 - 1.89738\delta - 0.19090\delta^2}{-0.42762(1 + \delta^2)}$
8077 7348	8077 7348	$\frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.00000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$
8223 8259	8223 8259	$\frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})} = \frac{-0.40000 - 1.5492\delta + 0.00000\delta^2}{-0.40000(1 + \delta^2)}$

الجدول (3): قيم الثابت الاحصائي التنسوري (CST) للانتقالات الكامية لنواة  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  باستخدام المعادلة رقم (14).

$E_i$ (keV) Ref. [18]	$E_\gamma$ (keV) Ref. [18]	$\rho_o^2(I_i^\pi)$ for pure transition or considered to be pure
		$\rho_o^2(I_i^\pi) = \frac{a_2(I_i - I_f)}{F_2(I_f L L I_i)}$
4814 5521	4814 5521	$\rho_o^2(\frac{3}{2}) = \frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{F_2(\frac{3}{2} 11 \frac{3}{2})} = \frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{0.40000}$
5658	4259	$\rho_o^2(\frac{5}{2}) = \frac{a_2(\frac{5}{2} - \frac{7}{2})}{F_2(\frac{7}{2} 11 \frac{5}{2})} = \frac{a_2(\frac{5}{2} - \frac{7}{2})}{0.13363}$
5719 5881	5719 5881	$\rho_o^2(\frac{3}{2}) = \frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{F_2(\frac{3}{2} 11 \frac{3}{2})} = \frac{a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2})}{0.40000}$
5897 6493	4498 5094	$\rho_o^2(\frac{7}{2}) = \frac{a_2(\frac{7}{2} - \frac{7}{2})}{F_2(\frac{7}{2} 11 \frac{7}{2})} = \frac{a_2(\frac{7}{2} - \frac{7}{2})}{-0.43644}$

6039 6091	6039 6091	$\rho_o^2\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{F_2\left(\frac{3}{2} \ 11 \ \frac{3}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{0.40000}$
6206	4218	$\rho_o^2\left(\frac{9}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{5}{2}\right)}{F_2\left(\frac{5}{2} \ 22 \ \frac{9}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{9}{2}\right)}{-0.43252}$
6457 6894	5543 5980	$\rho_o^2\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)}{F_2\left(\frac{5}{2} \ 11 \ \frac{5}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{7}{2}\right)}{-0.42762}$
6461	5970	$\rho_o^2\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)}{F_2\left(\frac{1}{2} \ 11 \ \frac{3}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)}{0.50000}$
6627 6710 6843 7299 8077 8223 8259	6627 6710 6843 7299 8077 8223 8259	$\rho_o^2\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{F_2\left(\frac{3}{2} \ 11 \ \frac{3}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)}{0.40000}$
6749 7650	6749 7650	$\rho_o^2\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{3}{2}\right)}{F_2\left(\frac{3}{2} \ 11 \ \frac{5}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{3}{2}\right)}{0.37417}$
6836 6905	5437 5506	$\rho_o^2\left(\frac{9}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)}{F_2\left(\frac{7}{2} \ 11 \ \frac{9}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)}{0.30277}$
6939	6448	$\rho_o^2\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)}{F_2\left(\frac{1}{2} \ 11 \ \frac{3}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)}{0.50000}$
7394	3816	$\rho_o^2\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)}{F_2\left(\frac{5}{2} \ 11 \ \frac{5}{2}\right)} = \frac{a_2\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)}{-0.42762}$

الجدول (4): قيم  $a_2(I_i^\pi - I_f^\pi)$  للانتقالات الكامية لنواة  $^{59}\text{Cu}_{30}$  باستخدام المعادلة رقم

(8).

$E_i$ (keV) Ref. [18]	$E_\gamma$ (keV) Ref. [18]	$a_2(I_i^\pi - I_f^\pi) = \rho_o^2(I_i) \frac{F_2(I_f L L I_i) + 2\delta F_2(I_f L L' I_i) + \delta^2 F_2(I_f L' L' I_i)}{(1 + \delta^2)}$
4814	4814	
5521	5521	
5719	5719	
5881	5881	
6039	6039	
6091	6091	
6627	6627	
6710	6710	$a_2(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}) = \rho_o^2(\frac{3}{2}) \frac{-4.0000 - 1.5492\delta - 0.0000\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
6843	6843	
7299	7299	
7348	7348	
8077	8077	
8223	8223	
8259	8259	
5658	4259	$a_2(\frac{5}{2} - \frac{7}{2}) = \rho_o^2(\frac{5}{2}) \frac{0.13363 - 1.38874\delta - 0.32453\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
5897	4498	$a_2(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}) = \rho_o^2(\frac{7}{2}) \frac{-0.43644 - 0.75594\delta + 0.24939\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
6206	4218	$a_2(\frac{9}{2} - \frac{5}{2}) = \rho_o^2(\frac{9}{2}) \frac{-0.43252 - 1.09108\delta - 0.41287\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
6457	5543	
6894	5980	$a_2(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}) = \rho_o^2(\frac{5}{2}) \frac{0.42762 - 1.0148\delta + 0.19090\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
7394	3816	
6461	5970	$a_2(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}) = \rho_o^2(\frac{3}{2}) \frac{0.50000 - 1.173206\delta - 0.50000\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
6749	6749	
7650	7650	$a_2(\frac{5}{2} - \frac{3}{2}) = \rho_o^2(\frac{5}{2}) \frac{0.37417 - 1.89738\delta - 0.19090\delta^2}{(1 + \delta^2)}$
6836	5437	
6905	5506	$a_2(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}) = \rho_o^2(\frac{9}{2}) \frac{0.30277 - 1.87084\delta - 0.01966\delta^2}{(1 + \delta^2)}$

الجدول (5): قيم نسب الخلط ( $\delta$ ) للانتقالات الكامية من مستويات  $^{59}_{29}\text{Cu}_{30}$  المحسوبة بطريقة نسبة  $a_2$ .

i (keV) Ref.[18]	$E_\gamma$ (keV) Ref.[18]	$a_2(I_i^\pi - I_i^\pi)$	$a_2(\Delta a_2)$	$\rho_q^\lambda(I_i)$		$\delta$ -mixing Ratios			Multipolarity
				$\rho_o^2(I_i)$ (pw)	Weighted average (pw)	Exp. Ref.[18]	(pw)		
							CST	$a_2$ -Ratio	
4814	4814	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.47(2)	1.75(0.05)	0.017716(2485)	-0.05(5) or -3.3(7)	-0.029(5)	-0.60 or -3.4(6)	M1
5521	5521	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.51(2)	1.275(0.05)	0.017716(2485)	0.73(5) or 2.6(2)	0.026(3)	0.71(5) or 2.69(2)	M1
5658	4259	$\left(\frac{5}{2} - \frac{7}{2}\right)$	-0.19(4)	1.42(0.29)	-1.810(53)	-0.03(5)	-0.03(5) or 6.4(4)	-0.5(5) or 14.3(1)	M1
5719	5719	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.04(5)	-0.100(0.125)	0.017716(2485)	0.23(6) or >7	0.34(5)	0.25(4) or 37.25(1)	M1
5881	5881	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.40(9)	-1.0(0.225)	0.017716(2485)	0.0(1) or <-3	0.034	0.18(1)	M1
5897	4498	$\left(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}\right)$	0.43(5)	-0.985(0.14)	0.964(1050)	0.07(10)	0.030 or 2.17	0.17(1)	M1
6039	6039	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.11(4)	-0.275(0.1)	0.017716(2485)	0.17(4) or >10	0.12(4)	0.17(4)	M1
6091	6091	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.01(4)	0.025(0.1)	0.017716(2485)	0.29(4) or >14	0.12(1) or 2.48(1)	0.3(3) or 41.3	M1
6206	4218	$\left(\frac{9}{2} - \frac{5}{2}\right)$	-0.34(15)	0.7860(0.346)	-0.8834(59)	---	-0.68(1)	-0.7(1)	E2
6457	5543	$\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)$	0.36(7)	0.841(0.16)	-1.810(530)	0.09(12)	1.0(8) or 1.6(1)	0.2(5) or 19.8	M1
6461	5970	$\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)$	0.89(21)	-2.22(0.52)	0.017716(2485)	0.6(2)	0.01(1)	1.15(4)	M1
6493	5094	$\left(\frac{7}{2} - \frac{7}{2}\right)$	0.40(8)	0.916(0.183)	0.964(1050)	0.1(1)	2.2(2.0)	0.05(1) or 4.05	M1
6627	6627	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.37(2)	-0.925(0.05)	0.017716(2485)	0.03(3) or <3.6	0.03(3)	0.43	M1

التوزيع الزاوي وحساب نسب الخط المتعدد الأقطاب ..... أ.م.د.سفرة معيلف الشمري

6710	6710	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.38(3)	- 0.95(0.07 5)	0.017716(24 85)	0.02(3) or 4(1)	0.03(5)	0.95	M1
6749	6749	$\left(\frac{5}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.02(2)	0.053(0.0 53)	-1.81(53)	-0.21(3)	-0.2(1) or -9.8(1)	-0.18 or -7.32	M1
6836	5437	$\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)$	-0.36(5)	- 1.189(0.1 65)	-0.883(69)	0.00(5)	0.7 or 3.5(2)	0.02(2) or 5.18	M1
6843	6843	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.20(2)	0.5(0.05)	0.017716(24 85)	0.4(1) or 7(2)	0.06(1)	0.45(1) or 6.65(2)	M1
6894	5980	$\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)$	- 0.15(14)	0.35(0.32)	-1.81(53)	0.6(3) or <-3	0.5(3) or 8.9	0.2(3)	M1
6905	5506	$\left(\frac{9}{2} - \frac{7}{2}\right)$	-0.32(8)	- 1.056(0.0 69)	-0.883(59)	-0.04(6)	-0.05(6) or -4.75(2)	-0.05(6) or 6.5	M1
6939	6448	$\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\right)$	- 0.01(13)	0.025(0.3 25)	-1.056(0.264)	- 0.25(11) or 4(2)	-0.1(1) or 21(1)	-0.49(20) or 1.62(1)	M1
7299	7299	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	0.07(4)	- 0.175(0.1)	0.017716(24 85)	0.21(5) or < -10	0.19(6)	0.21(5)	M1
7348	7348	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.24(8)	0.6(0.2)	0.017716(24 85)	0.5(1) or 6(3)	0.05(2)	0.2(1) or 9.1(3)	M1
7394	3816	$\left(\frac{5}{2} - \frac{5}{2}\right)$	0.57(6)	- 1.33(0.14)	-1.81(53)	-0.1(1)	-0.05(5)	-0.08(2) or 1.83	M1
7650	7650	$\left(\frac{5}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.63(5)	- 1.68(0.13)	-1.81(53)	0.1(1)	0.05(9)	0.08(2) or 2.7(1)	M1
8077	8077	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.59(4)	1.475(0.1)	0.017716(24 85)	1.0(2) or 1.7(3)	0.02(9)	0.75(2)	M1
8223	8223	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	-0.56(3)	1.4(0.075)	0.017716(24 85)	0.9(2) or 1.8(3)	0.02(9)	0.1(6) or 2.7(6)	M1
8259	8259	$\left(\frac{3}{2} - \frac{3}{2}\right)$	- 0.43(15)	1.075(0.3 75)	0.017716(24 85)	0.65(5) or 3.1(4)	0.03(8)	0.1(5) or 4.9(4)	M1

المصادر:

- [1] Hamilton W. D., "*The Electromagnetic Interaction in Nuclear Spectroscopy*", North-Holland Publishing Co., pp. 517-773 (1975).
- [2] Al-Alawy I. T., and Al-Hmeddawy M. J., "*Calculations of Multipole Mixing Ratios of  $\gamma$ -transitions From Level of  $^{173}_{70}\text{Yb}_{103}$  Isotope*", College of Education J., Al-Mustansiriyah Univ., (2006).
- [3] Enge H. A., Irwin E. J., and Weaver D. H., Phys. Rev. C, Vol. 115, p.949 (1959).
- [4] Krane K. S., "*Introductory Nuclear Physics*", John Wiley and Sons p.333 (1988).
- [5] Marinage H., and Yamazaki T.: "*In Beam Gamma Ray Spectroscopy*", North- Holland Publishing Co., pp. 505-642 (1976).
- [6] Feshbach H., "*Theoretical Nuclear Physics*", Vol. 1: Nuclear Structure, John Wiley and Sons Inc., p.453 (1974).
- [7] Green Wood R. G., and Reich C. W.: Nucl. Phys. A, Vol. 252, p.260 (1975).
- [8] Beale D. J., Polettiand A. R., and Southon J. R: J. Phys. A, Vol. 32, p.195 (1979).
- [9] Oshima M., Atsuzaki M., Ichikawa S., and Imurq H.: Phys. Rev. C, Vol. 40, p. 2084 (1989).
- [10] Pantelica D., Negoita F. and Sciente N., Romanian Reports in Phys., Vol. 55, pp. 464-471 (2003).
- [11] Ibraheim K. S., Al-Alawy I. T., and Al-Shibany M. Z., "*Calculations of  $\delta$ -mixing ratios of  $\gamma$ -transitions from level of  $^{172}_{71}\text{Lu}_{101}$* ", College of Education J., Al-Mustansiriyah Univ., (2005).
- [12] Meyerhof W. E., "*Elements of nuclear physics*", McGraw-Hill, pp. 145-225 (1967).
- [13] Youhana H. M., Ph.D. Thesis, University of Manchester (1974).
- [14] Gastebois., Fernande B., and Laget J. M.: Nucl. Phys. A, Vol. 125, p.531 (1969).
- [15] Ionesescu V. A., Kern J., Nordmann C., and Olbrich S.: Nucl. Ins and Meth., Vol. 190, p. 19 (1981).
- [16] Yamazaki T., Nuclear data, section A, Vol. 3, pp. 1-3 (1976).
- [17] Poletti A. R. and Warburton E. K., Phys. Rev. C, Vol. 137, p. 595 (1965).
- [18] Cameron J. A. Janzen V. P., and Schubank R. B., Phys. Rev. C, Vol. 31, pp. 800-821 (1985).
- [19] Ameen M. M., Ph.D. Thesis, Univ. of Baghdad (1999).