



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء

مذكرة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

التخصص: فيزياء الاشعاعات

من إعداد الطالب: بن عبد الواحد حمزة

بعنوان:

حساب قوة الانتقال قامو-تايلور لطبقة fp النووية

نوقشت يوم 06 \ 09 \ 2022

أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (ب)	بللة زكية
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (ب)	عباسة حكيمة
مؤطرا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	ثورية شهرة

الموسم الجامعي 2021/2022

إهداء

الحمد لله رب العالمين

إلى أول مدرسة تعلمت النطق بين يديها وكان أول مناطقت به إسمها : ماما.

...

إلى دستور الحكمة وبيان الكفاح الذي عاش عمره يقاتل على أن لا يطعمني واخوتي إلا حلالا: أبي.

—

إلى معلمي القرءان: شيخ المعلمين رحمه الله بلبركة عبد الله وحبير الأحكام الشيخ طالب: إعيش عبد الله رحمه الله

ثم إلى كل مدرسة دخلتها فتعلمت حرفا، وإلى كل مكان مررت به فازددت عرفا.

إلى أم الجمعيات الكشافة الإسلامية الجزائرية.

إلى إخوتي و أخواتي، إلى زملاء المدارس والشوارع .. إلى أهالي قريتي الصغيرة بكل ماتحوي من كيان، رمز التكافل

والتضامن سيلافن.

أهدي هذا العمل المتواضع.

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

والحمد لله حد اللاحد حد الهنى والمنى والسعد، ثم الصلاة والسلام على النبي الأجد سيدنا وحبينا أبي القاسم المصطفى محمد (صلى الله عليه وعلى آله وصحبه وسلم)

أتوجه بالشكر الوافر والجزيل ، ولعل الشكر وحده لا يغني ولا يوفي حق من تعبت في التوجيه والتصحيح والنصح والإرشاد طيلة مسيرة إنجاز هذا العمل المتواضع الأستاذة د. ثورية شهرة التي سخرت جل وقتها لأجل إنجاز هذا العمل، فما بخلت بمد يد العون وما كتمت علمها على أحد بشهادة زملاء دفعة التخرج والسابقين، فكانت شديدة الإلحاح على أن يخرج هذا العمل دقيقا ومرتبنا من حيث الشكل والمضمون.

كما أتوجه بجزيل الشكر للدكتورتين : د. بلة زكية أستاذة محاضر جامعة ورقلة لقبولها التقدم لرئاسة لجنة المناقشة

و د.عباسية حكيمة أستاذة محاضر بجامعة ورقلة لوجودها كمناقشة لهذا العمل المتواضع.

كما لايفوتني أن أتوجه بجزيل الشكر والعرفان لكل أساتذة قسم الفيزياء بجامعة قاصدي مرباح وكل زملاء وزميلات دفعة التخرج ماستر ، وإلى كل أساتذة معهد العلوم والتكنولوجيا بجامعة الحاج موسى أق أخموك بتمنراست خصوصا قسم علوم المادة ، وأضيف إلى ذلك زملاء دفعة ليسانس ثم جزيل الشكر والعرفان للزميل السابق د.زطار عماد ياسين.

والسلام عليكم ورحمة الله تعال

الفهرس

i	.....	قائمة الجداول
ii	.....	قائمة الأشكال
01	.....	مقدمة عامة

الفصل الأول: عموميات حول النواة الذرية

03	.....	1-1 مقدمة
03	.....	2-1 النواة الذرية (<i>the Atomic nucleus</i>)
05	.....	3-1 الاعداد الكمية
05	.....	1-3-1 العزوم الحركية
06	.....	2-3-1 السبين النظيري (الإيزوسبين) (Isospin)
07	.....	3-3-1 التماثل (parity)
07	.....	4-1 التفاعلات النووي الضعيفة: تفكك بيتا (beta decay)
07	.....	1-4-1 آلية تفكك بيتا
08	.....	2-4-1 الانتقالات فيرمي (Fermi F) وقامو-تايلور (Gamow-teller)
10	.....	3-4-1 هيكلية تفكك بيتا
11	.....	5-1 تفاعلات تبادل-الشحنة
12	.....	6-1 خلاصة

الفصل الثاني: نموذج القشرة النووي و كود نيوشيل أوكس (NuShellX Code)

13	.....	2-1 مقدمة
13	.....	2-2 نموذج القشرة النووي (Nuclear shell model)
18	.....	3-2 مكونات النموذج الطبقي (نموذج القشرة)
18	.....	4-2 اختيار منطقة التكافؤ والتفاعل المؤثر
19	.....	5-2 مفهوم القوة الضائعة في انتقال قامو-تايلور (معامل التخفيض)

20كود نيوشيل أكس (NuShellX Code) 6-2

22خلاصة 7-2

الفصل الثالث: حساب قوة الانتقال قامو-تايلور الطبقة fp

23مقدمة 1-3

23قوة الانتقال قامو-تايلور للقشرة fp 2-3

29النتائج والمناقشة 3-3

31خلاصة عامة

33المراجع

الملخص

قائمة الأشكال

الفصل الأول: عموميات حول النواة الذرية

- 03 الشكل (1.1) سلم أطوال مكونات النواة الذرية مقارنة بالذرة.
- 11 الشكل (2.1) مطياف The Grand Raiden

الفصل الثاني: نموذج القشرة النووي وكود نيوشيل أكس (NuShellX Code)

- 15 الشكل (2.1) كمون نكليون منفرد $U(r)$ من أجل $A=29$.
- 17 الشكل (2.2) مخطط مستويات نموذج القشرة عند الأخذ بمختلف حدود في هاملتون هزاز التوافقي البسيط. [24].
- 18 الشكل (3.2) مخطط المدارات المشكلة للقلب، منطقة التكافؤ و الفضاء الخارجي
- 21 الشكل (4.2) صورة لنافذة كود نيوشال أكس تعمل على وينداوز.
- 22 الشكل (5.2) مخطط توضيحي لطريقة عمل NushellX

الفصل الثالث: حساب قوة الانتقال قامو-تايلور الطبقة fp

- 23 الشكل (1.3) خريطة انوية للقشرة fp، توضيح نظائر Ca.
- 24 الشكل (2.3) مخطط تناظر الايزوسبين $T_z = \pm 1, 0$ من أجل ايزوبار $A=42$.
- 24 الشكل (3.3) مخطط الايزوسبين $T_z = +4, +3, +2$ من أجل ايزوبار $A=48$.
- 25 الشكل (4.3) مقارنة الاطيف التجريبية للتفاعلات $^{48}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{48}\text{Sc}$ و $^{42}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{42}\text{Sc}$ على الترتيب عند 0° ...
- الشكل (5.3) تمثيل نموذج القشرة SM (نموذج القشرة) قبل وبعد انتقال قامو-تايلور لتفاعل $^{42}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{42}\text{Sc}$.
- 26 التفاعل $p - p$ تنافر
- الشكل (6.3) تمثيل SM (نموذج القشرة) قبل وبعد انتقالات قامو-تايلور للتفاعل $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$. التفاعل $p - h$
- 26 تجاذب.
- الشكل (7.3) المدخلات المستخدمة في كود نيوشال أكس لحساب قيم قوة الانتقال قامو-تايلور للتفاعلين $^{42}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{42}\text{Sc}$ و $^{48}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{48}\text{Sc}$.
- 27 الشكل (8.3) مقارنة القيم النظرية لـ $B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [43,42] للانتقال $^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$
- 28 الشكل (9.3) مقارنة التوزيع $\sum B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [43,42] للانتقال $^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$

الشكل(10.3) مقارنة القيم النظرية ل $B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [45,40] للانتقال $^{48}Ca \rightarrow ^{48}Sc$ 30

الشكل(11.3) مقارنة التوزيع $\sum B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [45,40] للانتقال $^{48}Ca \rightarrow ^{48}Sc$ 30

قائمة الجداول

الفصل الأول: عموميات حول النواة الذرية

الجدول (1.1) قواعد الانتقاء للانتقالات فرمي و قامو_تايلور المسموحة والممنوع الأول والثاني [13] 09

الفصل الثاني نموذج القشرة النووي وكود نيوشيل أكس (NuShellX Code)

الجدول (1.2) قيم معامل التخامد q حسب منطقة القشرة. 20

مقدمة عامة

بناء على اقتراح ارنست رذرفورد (Ernest Rutherford) في سنة 1911، على وجود النواة الذرية ذات شحنة موجبة [1]، و أيضا اكتشاف جيمس شادويك (James Chadwick) وجود النيوترونات سنة 1932، أقترح ديمتري ايفانينكو (Dmitri Ivanenko) سنة 1932 ان النواة تتألف فقط من البروتونات ونيوترونات وظهرت اول نسخة لنموذج القشرة النووي [2]. بعد ذلك بقليل، اقترح يوكاوا (Yukawa) نظريته الشهيرة حول تبادل الميزونات [1]1935، الذي كان المحاولة الأولى لوصف القوة النووية الشديدة المسؤولة على تماسك النواة ضد قوة كولوم التنافرية الناتجة من الشحنة الموجبة للنيوترونات. اليوم، معروف ان نظرية يوكاوا ماهي الا نظرية الحقل الفعال للقوة الشديدة التي تربط الكواركات في الهادرونات ومع ذلك، لا تزال فكرة يوكاوا تعطي مفهومًا قويًا لوصف التفاعلات بين النكليونات الفردية رغم الوصف الرياضي الدقيق في الوقت الراهن [1 – 3].

نتيجة لما سبق، تعد الفيزياء النووية مجال واسع لدراسة المسائل متعددة-الجسيمات (Many-body) مع تفاعلات تسيرها القوة النووية الشديدة. هذه التفاعلات المعقدة تؤدي الى ظهور العديد من الظواهر المهمة مثل، طاقة الربط، توزيع الشكل والشحنة، بالإضافة الى تهيجات النووية (nuclear excitations)، هذه الأخيرة قد تؤدي بدوها الى ظهور حركات جماعية للنكليونات تعرف باسم الرنين (Giant resonance) [4].

التعقيدات في المسائل متعددة-الجسيمات يتجلى خلال الاضمحلال النووي (النشاط الاشعاعي). فالنواة ممكن ان تتفكك الى نواة أخرى بعدة أنماط: تفكك ألفا، إصدار بروتون او نيوترون، الانشطار وأيضا تفكك بيتا الذي يعتبر نمط خاص تتحكم فيه القوة النووية الضعيفة.

تفاعلات تبادل-الشحنة (Charge-exchange CE) هي نوع مهما من التفاعلات النووية. حيث يتم هذا النوع من التفاعلات باستخدام التصادم بين النوى لاستبدال بروتون بالنيوترون أو العكس. لذلك، يعتبر أداة قوية لدراسة تعلق الايزوسبين isospin بالمسائل النووية ل متعددة-الجسيمات. نظرا لتمثيل النواة البنت في تفاعل تبادل-الشحنة وتفكك بيتا، فتفاعل تبادل-الشحنة يوفر لنا الفرصة للدراسة الدقيقة لمختلف جوانب البنية النووية لتفكك بيتا، تلعب هذه الدراسات دورا مهما خاصة في الفيزياء الفلكية حيث تمكننا من شرح أصل العناصر الاخف من الحديد.

من خلال هذه الدراسة سوف نتم بنوع من تفاعلات تبادل-الشحنة ألا وهو التفاعل $(^3He, t)$. من الناحية التجريبية، في هذا التفاعل يتم قصف (قذف) حزمة (شعاع) من 3He لهدفا ثابتا و يتم رصد الاحداث، حيث يتم اصدار جسيم 3t (تريتون) وينتج عنه تبادل نيوترون بروتون في النواة المستهدفة. هذه العملية قد تترك نواة الصادرة (نواة الارتداد)

في حالة من الإثارة. لأن كلا من الشعاع ${}^3\text{He}$ و ${}^3\text{t}$ مشحونة ويمكن الكشف عنهما بسهولة. هذا يسمح بالحساب الدقيق للتصادمات، وبالتالي الحالة المثارة لنواة الارتداد. لذلك، فإن التفاعل $({}^3\text{He}, t)$ هو أداة قوية في دراسة البنية النووية [5]. التطوير النظري لنموذج القشرة النووي وكذا توفر حاسبات قوية سمح أيضا بتكامل فهم الخصائص الطيفية لمستويات النووية، مثل كود نيوشال أكس (NuShellX) الذي هو عبارة على مجموعة من كودات كمبيوتر (حاسبات) من أجل أبحاث نموذج القشرة، طرح من طرف Bill Rae [5]. يستخدم نيوشال أكس للحصول على الطاقات الدقيقة، المتجهات الذاتية و تداخلات الطيفية للحالات المنخفضة في حسابات مصفوفة هاميلتوني لنموذج القشرة. وأيضا عبارة على مجموعة من اكودا لاغلفة (Wrapper) وضعت من طرف Alex Brown، التي تستخدم ملفات البيانات لفضاء النموذج (model spaces) و هاميتونات لأنشاء مدخلات لنيوشال أكس، و تحويل مخرجات نيوشال أكس الى جداول واشكال لمستويات الطاقة، تفكك قاما و تفكك بيتا [6-7].

في هذا العمل سنهتم بشكل أساسي بالقشرة fp التي تعتبر محور دراسة لعدة مشاريع نظرية او تجريبية في الوقت الراهن. تبين ان هذه الانوية ذات تماثل موجب موصوفة بصورة جيدة من خلال نموذج القشرة باستخدام التفاعلات المؤثرة KB3G ، GX1A (GXP1A) وأيضا التفاعل FPD6 . وسنهتم على الخصوص استخدام الكود Nushellx لحساب قوة الانتقال قامو-تايلور B(GT) للتفاعلات ${}^{48}\text{Ca}({}^3\text{He}, t){}^{48}\text{Sc}$ و ${}^{42}\text{Ca}({}^3\text{He}, t){}^{42}\text{Sc}$ ومقارنتها مع النتائج التجريبية. لذلك تم تقسيم هذا العمل الى ثلاث فصول مهمة:

- الفصل الأول: يحتوي على مقدمة حول النواة الذرية ومكوناتها وخصائصها مثل السبين والايروسبين وأيضا الاهتمام بتفككات بيتا وانتقالات قامو-تايلور والتفاعلات تبادل-الشحنة.
- الفصل الثاني: وصف لنموذج القشرة النووي وكذا فضاءات النموذج وتفاعلات المؤثرة، وفي جزء من هذا الفصل سنشرح القليل على كود نيوشال أكس.
- الفصل الثالث: يحتوي هذا الفصل على شرح للتفاعلات محل الدراسة ومناقشة النتائج ومقارنتها مع النتائج التجريبية.
- ونختم هذا العمل بملخص عامة وبعض الافاق المستقبلية.

الفصل الأول

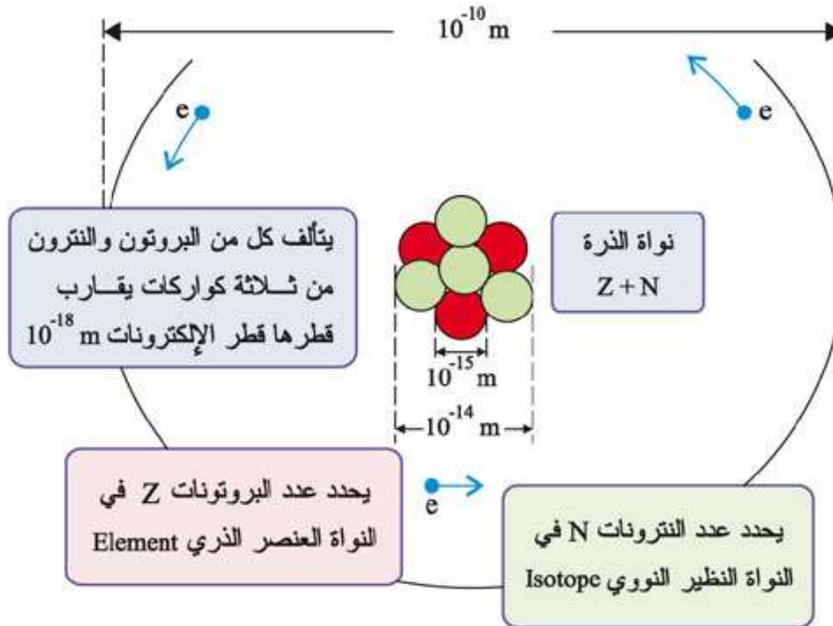
عموميات حول النواة الذرية

1-1 مقدمة

تلعب الفيزياء النووية دورا كبيرا في التطور ليس من جهة الطاقة فقط، لكن ممكن ان تصل بنا لمعرفة بناء الكون وتركيب الانوية بواسطة دراسة تفككات بيتا او التفاعلات المشابهة لها. في هذا الفصل سوف نبحث بخواص النواة والتفاعلات الضعيفة مثل تفاعل بيتا وانتقال فرمي وانتقال قامو-تايلور مع التعرف على تفاعلات تبادل-الشحنة.

2-1 النواة الذرية (the Atomic nucleus)

توجد النواة الذرية على سلم فمتومتر او فيرمي (*femtometre scale*)، حيث تصغر أربع مراتب الابعاد الذرية، فالنواة هي نظام كمومي تتكون من مجموعة من الجسيمات الميزوسكوبية (*mesoscopic*): بروتونات ونيوترونات ترتبط ببعضها بواسطة القوة النووية القوية (التي طرح العالم الياباني يوكاوا *Yukawa* نظريتها المبنية على تبادل الميزونات سنة 1934)، وتتفاعل البروتونات والنيوترونات فيما بينها من خلال ثلاثة من أصل أربعة قوى الأساسية في الطبيعة: النووية القوية، النووية الضعيفة و القوة الكهرومغناطيسية. تشكل النواة تقريبا 99.9% من كتلة الذرة لكن حجمها ضئيل مقارنة بنصف قطر الذرة (نصف قطر لذري من رتبة $10^{-10}m$ والنووي من رتبة $10^{-15}m$) الشكل (1.1).



الشكل (1.1): سلم أطوال مكونات النواة الذرية مقارنة بالذرة [8].

البروتونات والنيوترونات تدعى بالنكليونات (تلعب نفس الدور في تفاعل القوة النووية القوية التي لا تتعلق بالشحنة) ليست جسيمات أولية، فهي تنتمي الى مايسمى في فيزياء الجسيمات بالهادرونات المشكلة من جسيمات أولية تسمى الكواركات وبشكل أكثر تحديدا يتكون النكليون من ثلاث كواركات (البروتون: 2 كوارك علوي وكوارك واحد سفلي uud، النيوترون: كوارك واحد علوي و2 كوارك سفلي ddd)[9].

البروتون (proton): البروتون (p) جسيم يحمل شحنة موجبة مساوية الى شحنة الالكترن وكتلته تساوي تقريبا 1836 مرة من كتلة الالكترن (e).

$$m_p c^2 = 938.27 \text{ MeV}, q_p = e = 1,6 \times 10^{-1} \text{ C} \quad (1.1)$$

لحد الان، يعتبر البروتون جسيم مستقر، ذو عمر النصف له حوالي 10^{35} سنة.

النيوترون (Neutron): النيوترون (n) جسيم متعادل الشحنة (لا يحمل شحنة) كتلته مساوية تقريبا لكتلة البروتون.

$$m_n c^2 = 939.56 \text{ MeV} \quad (1.2)$$

يمكن ان يتواجد النيوترون خارج النواة (نيوترون حر) غير مستقر العمر النصف له 15 دقيقة يتفكك بعدها الى بروتون والكترون، ولان النيوترون لا يحمل شحنة يصعب الكشف عنه الامر الذي أدى الى التأخر في اكتشافه.

نشير بواسطة N إلى عدد النيوترونات في النواة، و Z عدد البروتونات (العدد الذري)، و $A = N + Z$ العدد الإجمالي للنكليونات (العدد الكتلي). تمثيل النواة بواسطة الرمز ${}^A_Z X$ ، حيث X هو الرمز الكيميائي المرتبط ب Z (الذي يساوي عدد الإلكترونات في الذرة المحايدة).

الاعداد (Z, A) أو (Z, N) لا تحدد بشكل فريد الحالة النووية، في الواقع، سيكون لنواة معينة (Z, A) مجموعة من الحالات المثارة التي تنفصل عن الحالة الأرضية ل (Z, A) عن طريق إصدار فوتونات (أشعة قاما γ). تتراوح أعمار هذه الحالات المثارة بشكل عام بين 10 و 12 ثانية او اقل من ذلك.

وتعرف النظائر (*Isotopes*) بأنها النوى التي تمتلك العدد نفسه من البروتونات، في حين ان الأيزوتونات (*Isotones*) بأنها النوى التي تمتلك العدد نفسه من النوترونات. وأهم مجموعة في دراستنا هي الانوية الايزوبارات (*Isobars*): انوية مختلفة العنصر تمتلك نفس العدد الكتلي ومختلفة في العدد الذري.

3-1 الاعداد الكمية

1-3-1 العزوم الحركية

لكل نكليون (البروتون والنيوترون) عزم حركي ذاتي (\vec{S} spin angular momentum) نتيجة لدورانها حول نفسه:

$$\vec{S} = \sqrt{s(s+1)}\hbar \quad (1.3)$$

$$\hat{S}_z = m_s \hbar, \quad m_s = -s, -s+1, \dots, s-1, s \quad (1.4)$$

حيث العدد الكمي الذاتي او ما يسمى سبين ($spin$) يساوي $s = \frac{1}{2}$ ، ونجد ان m_s (العدد الكمي المغناطيسي السبيني) وهو مسقط عزم الحركي الذاتي على المحور Z له قيمتين $\pm \frac{1}{2}$.

وأيضاً لكل منهما عزم حركي مداري (\vec{l} orbital angular momentum) نتيجة لحركتها ضمن النواة بالنسبة الى لمركز الكتلة:

$$\vec{l} = \sqrt{l(l+1)}\hbar, \quad l(\text{الرمز}) = 0(s), 1(p), 2(d), 3(f) \dots \quad (1.5)$$

$$l_z = m_l \hbar, \quad m_l = -l, -l+1, \dots, l-1, l$$

حيث l العدد الكمي المداري. m_l هو العدد الكمي المغناطيسي المداري.

والعزم الحركي الكلي \vec{j} لكل نكليون هو مجموع العزم الحركي الذاتي والعزم الحركي المداري:

$$\vec{j} = \vec{s} + \vec{l} = \sqrt{j(j+1)}\hbar, \quad |l-s| \leq j \leq l+s \quad (1.6)$$

$$\hat{j}_z = m_j \hbar = (m_l + m_s)\hbar, \quad m_j = -j, -j+1, \dots, j-1, j \quad (1.7)$$

العدد الكمي الكلي $j = l \pm \frac{1}{2}$.

بالنسبة للنواة (عدد من النكليونات) العزم الكلي \vec{J} هو ناتج عن مجموع العزوم الكلية للنكليونات المنفصلة:

$$\vec{J} = \sum \vec{j} = \sqrt{J(J+1)}\hbar \quad (1.8)$$

$$\hat{J}_z = m_J \hbar \quad (1.9)$$

وقد شاع تسميته العدد الكمي النووي الكلي J بسبين النواة (يشمل اللف الذاتي لنكليونات وعزومها المدارية).

بالنسبة إلى النوى المستقرة ذات A فردية لا يتعدى سبين النواة فيها $\frac{9}{2}$ ، وبالنسبة إلى الانوية ذات A زوجي يتراوح في

اغلب الحالات بين 0 و 5 (عزوم النكليون لا تملك اتجاه واحد) و $J = 0$ لكافة الانوية Z زوجية- N زوجية نتيجة

لتعادل عزوم الكلية للنكليونات والمتعاكسة مثنى مثنى.

2-3-1 السبين النظري (الايوسبين)(Isospin)

التفاعل القوي بين بروتونين (او نيوترونين) مماثل للتفاعل بين بروتون ونيوترون، أي انه مستقل على الشحنة الكهربائية:

$$p - p = n - n = p - n$$

في سنة 1932، *Werner Heisenberg* استنتج ان البروتون والنيوترون حالتين مختلفتين لنفس الجسم (النكليون)، هذا الاختلاف نتيجة للعدد الكمي "الداخلي" يسمى الايزوسبين (isospin) او السبين النظيري (isobaric spin) \vec{t} والمركبة (مسقط \vec{t} على المحور Z) t_z في الفضاء الافتراضي للايزوسبين تأخذ القيمة $\frac{1}{2}$ للحالة نيوترون و $-\frac{1}{2}$ للحالة بروتون (ينعكس هذا الاتفاق في فيزياء الجسيمات حيث القيمة $-\frac{1}{2}$ للحالة نيوترون و $\frac{1}{2}$ للحالة بروتون) أي $t = 1/2$ للنكليون.

من اجل نواة مركبة من العديد من النكليونات فان الايزوسبين الكلي للنواة وكذا مسقطه على Z تعطى بالعلاقات التالية [9 - 10]:

$$\vec{T} = \sum_i \vec{t}(i) \quad (1.10)$$

$$\hat{T}_z = \sum_i \hat{t}_z(i) \quad (1.11)$$

ترتبط الدوال الموجية للجسيمات المتعددة ψ مع القيم الذاتية للمؤثرات \hat{T}^2 و \hat{T}_z وفق المعادلات التالية:

$$\hat{T}^2|\psi\rangle = T(T + 1)|\psi\rangle \quad (1.12)$$

$$\hat{T}_z|\psi\rangle = T_z|\psi\rangle \quad (1.13)$$

يوجد $2T + 1$ قيمة ل T_z محصورة بين $T_z = -T$ الى $T_z = +T$ بخطوة صحيحة. من أجل نواة ذات Z بروتونات و N نيوتونات فإن [11]:

$$T_z = \frac{(N - Z)}{2}, \quad T \geq \left| \frac{(N - Z)}{2} \right| \quad (1.14)$$

$$T_z = -T, -T + 1, \dots, T - 1, T \quad (1.15)$$

الإشارة هنا تم اختيارها تكون موجبة للانوية الغنية بالنيوترونات (قد يختلف الامر في بعض المراجع). من أجل قيمة ل T

$$\text{محددة فان القيمة الصغرى هي } |T_z| = T_{min} \text{ والقيمة العظمى هي } \frac{A}{2} = T_{min} :$$

$$T = |T_z|, |T_z| + 1, |T_z| + 2, \dots, \frac{A}{2} \quad (1.16)$$

عموما، في الحالة الأساسية (الأرضية) لكل الانوية نأخذ $T = |T_z|$ ، إلا في حالة بعض الانوية $N = Z$ فردية-فردية.

3-3-1 التماثل (parity)

سلوك الدوال الموجية للجسيم عند تحويل الاحداثيات $\vec{r} \rightarrow -\vec{r}$ ، نرمز الى خاصية التماثل بالمؤثر $\hat{\pi}$ و قيمته الذاتية π :

$$\hat{\pi}f(\vec{r}) = f(-\vec{r}) = \pi f(\vec{r}) \quad (1.17)$$

لدينا:

$$\left. \begin{aligned} \langle f|\hat{\pi}\hat{\pi}|f\rangle &= \pi^2 \\ \langle f(-\vec{r})|f(-\vec{r})\rangle &= \pi^2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \pi^2 = 1 \rightarrow \pi = \pm 1 \quad (1.18)$$

يملك مؤثر التماثل $\hat{\pi}$ قيمة ذاتية زوجية (موجبة) +1 او فردية (سالبة) -1.

التفاعلات الشديدة والكهرومغناطيسية تحقق انحفاظ التماثل في حين ان التفاعلات الضعيفة يكون التماثل فيها غير محفوظ.

يتعلق التماثل بالعزم المداري حسب العلاقة التالية:

$$\pi_l = (-1)^l \quad (1.19)$$

4-1 التفاعلات النووي الضعيفة: تفكك بيتا (*beta decay*)

1-4-1 آلية تفكك بيتا

عملية تفكك بيتا β بطيئة نسبيا (من بضع ميلي ثانية الى مليارات السنوات)، وهي أكثر التفككات شيوعا التي تسمح بالانتقال الازوباري من نواة الى أخرى بواسطة التفاعل الضعيف. خلال هذا التفكك تظهر العديد من الحالات للنواة البنت وفقا للطاقة المسموحة.

لتفككات بيتا ثلاث أنماط وذلك حسب النواة المعنية بالتفكك (نواة الام) اذا كانت غنية بالبروتونات او نيوترونات، ففي حالة الانوية الغنية بالبروتونات، يحدث تفكك بيتا الموجب β^+ الذي يحول بروتون الى نيوترون. خلال هذا التفكك يتم اصدار زوج من الجسيمات بوزيترون-نيوترينو (e^+, ν_e). بطريقة مشابهة الأسر الالكتروني (electron capture) يمكن ان يحول بروتون الى نيوترون ولكن بطريقة تختلف على تفكك بيتا الموجب، حيث تأسر النواة إلكترون من إلكترونات المدارات الداخلية القريبة (K او L مثلا) ويتحد هذا الالكترون مع أحد البروتونات فيكون النيوترون واصدار النيوترينو دون اصدار جسيمات بيتا الموجبة. تتبع عملية الاسر الالكتروني بإعادة توزيع للإلكترونات بإصدار اشعة X . يمثل هذين النمطين على الترتيب بالمعادلات التالية:



في حالة الانوية الغنية بالنيوترونات، تحول نيوترون الى بروتون يرافقه اصدار زوج الكترون-ضديد نيوترينو $(e^-, \bar{\nu}_e)$ ، هذا التفكك يوصف بالتفاعل التالي:



تكون هذه الأنماط الثلاثة مسموحة اذا كانت الطاقة المتحررة خلال التفككات موجبة. هذا الشرط على الطاقة يترجم بواسطة العلاقات التالية:

$$\begin{cases} [M({}^A_Z X) - M({}^A_{Z-1} Y)]C^2 > 2m_e C^2 & (\beta^+) \\ [M({}^A_Z X) - M({}^A_{Z-1} Y)]C^2 > 0 & (EC) \\ [M({}^A_Z X) - M({}^A_{Z+1} Y)]C^2 > 0 & (\beta^-) \end{cases} \quad (1.23)$$

حيث $M({}^A_Z X)$ الكتلة الذرية للنواة الام، $M({}^A_{Z-1} Y)$ و $M({}^A_{Z+1} Y)$ الكتلة الذرية للانوية البنت الناتجة على الترتيب خلال تفكك (EC) و β^+ و β^- .

2-4-1 الانتقالات فيرمي (Fermi F) وقامو-تايلور (Gamow-Teller)

انتقالات β الملاحظة تتعلق ببنية الحالات الأساسية والمثارة للانوية الام والبنت الصادرة الداخلة في التفكك. في الواقع المؤثرات التي تصف هذه الانتقالات تخضع لقواعد الاصطفاء المحمولة على العزم الكلي J و التماثل π وكذا الايزوسبين T للحالات المعنية خلال تفكك بيتا [12].

اثناء عملية تفكك $\beta^- \beta^+$ يتم اصدار زوج من الجسيمات الكترون-ضديد النيوترينو (بوزيترون-النيوترينو) الذي يحمل العزم الزاوي المداري النسبي \vec{l}_β و أيضا محصلة العزم الذاتي $\vec{s} = \vec{s}_\beta + \vec{s}_\nu$. انخفاض العزم الحركي والتماثل على الترتيب اثناء التفكك يعطي قواعد الانتقاء:

$$\vec{J}_i = \vec{J}_f + \vec{l}_\beta + \vec{s} \quad (1.24)$$

$$\pi_i = \pi_f (-1)^l \quad (1.25)$$

حيث \vec{J}_i, \vec{J}_f عزم النواة الام (الابتدائية) و البنت (النهائية). نميز قسمين تفكك بيتا:

- في حالة $\vec{s}_\beta + \vec{s}_\nu = 0$ اتجاه اللف الذاتي لجسيمة β معاكس لاتجاه اللف الذاتي للنيوترينو فمحصلتهما تساوي الصفر ويسمى بتحلل فرمي (Fermi).

- في حالة $\vec{S}_\beta + \vec{S}_\nu = 1$ اتجاه اللف الذاتي لجسيمة β بنفس لاتجاه اللف الذاتي للنيوتريينو فمحصلتهما تساوي الصفر ويسمى بتحلل قامو-تايلور (Gamow-Teller) .

بالنسبة لقيمة العز المداري لجسيم β و ν فتحدد الانتقالات:

- $L_\beta = 0$ تحلل المسموح (allowed)

- $L_\beta = 1$ تحلل غير مسموح الأول (1st forbidden)

- $L_\beta = 2$ تحلل غير مسموح الثاني (2st forbidden)

تحدد قيم L_β من انحفاظ التماثل وقيم J من هذه المعادلة:

$$|J_i - J_f| \leq J \leq J_i + J_f \quad (1.26)$$

قواعد الاصطفاء التي تتحكم في انتقالات فرمي وقامو تايلور ممثلة في الجدول (1.1). كل الانتقالات المدروسة في هذا العمل هي من نوع قامو-تايلور.

الجدول (1.1) : قواعد الانتقاء للانتقالات فرمي و قامو-تايلور المسموحة والممنوع الأول والثاني [13] .

قامو-تايلور (Gamow-teller G-T)			فرمي (Fermi F)			l_β	طبيعة الانتقال
ΔT	$\Delta\pi = (-1)^{l_\beta}$	ΔJ	ΔT	$\Delta\pi = (-1)^{l_\beta}$	ΔJ		
$0, \pm 1$	+1	(0),1	0	+1	0	0	المسموح (allowed)
	-1	0,1,2		-1	(0),1	1	غير المسموح الأول (1st forbidden)
	+1	1,2,3		+1	(1),2	2	غير المسموح الثاني (2st forbidden)

يعني كتابة (0) بأن $0 \rightarrow 0$ غير مسموح.

3-4-1 هيكله تفكك بيتا

يتميز تفكك بيتا لنواة بالعمر النصف $T_{1/2}$ ، الذي يتعلق مباشرة باحتمال التفكك في وحدة الزمن λ_{if} (معامل التفكك) بين الحالة الابتدائية $|i\rangle$ والحالة النهائية $|f\rangle$ ، يعطى معامل التفكك بالعلاقة الذهبية لفرمي (Fermi Golden Rule) التالية [14]:

$$\lambda_{if} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle f | H_\beta | i \rangle|^2 \rho(E_f), \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda_{if}} \quad (1.27)$$

حيث $\rho(E_f)$: كثافة الحالات النهائية أي المتعلقة بالنوات البنت خلال التفكك (الانتقال).

H_β : هاميلتون التفاعل الضعيف (تفكك β)، وهو يتكون من نوعين، نوع قامو-تايلور ونوع فرمي.

عناصر المصفوفة H_β للانتقال β توصف بالصيغة [15]:

$$|M_{if}|^2 = |\langle f | H_\beta | i \rangle|^2 = g_V^2 |M_F|^2 + g_A^2 |M_{GT}|^2 \quad (1.28)$$

حيث g_V و g_A ثوابت التفاعل الضعيف و $|M_F|^2$ و $|M_{GT}|^2$ هي قوة الانتقال فرمي وقامو تايلور

(strength Gamow-Teller and Fermi) على الترتيب :

$$\begin{aligned} B(F) &= |M_F|^2 \\ B(GT) &= |M_{GT}|^2 \end{aligned} \quad (1.29)$$

يمكن كتابة الصيغ السابقة بطريقة ثانية [16,5]:

$$\begin{aligned} B(F \pm) &= \frac{1}{2J_i + 1} |\langle J_f || \sum_k \hat{t}_\pm^k || J_i \rangle|^2 \\ B(GT_\pm) &= \frac{1}{2J_i + 1} |\langle J_f || \sum_k \hat{\sigma}^k \hat{t}_\pm^k || J_i \rangle|^2 \end{aligned} \quad (1.30)$$

لدينا: $\hat{t}_- |n\rangle = |p\rangle$ ، $\hat{t}_+ |p\rangle = |n\rangle$ ، المؤشر k يسمح مل مدارات الجسيمة المنفردة.

حيث \hat{t}_\pm هو مؤثر الايزوسبين (إشارة (-) من اجل β^- isospin lowering و (+) من أجل β^+ isospin raising)، و $\hat{\sigma}$ مؤثر السبين. قوة انتقال قامو-تايلور تتعلق بـ $\hat{\sigma} \hat{t}_\pm$ نتيجة تغير السبين في النواة في حين ان هذا غير ممكن في تفكك فرمي.

تجريبيا تحسب قوة الانتقال قامو-تايلور عن طريق حساب المقاطع الفعالة للتفاعل، هناك علاقة تناسبية بين المقاطع

الفعالة لـ GT و قوة الانتقال $B(GT)$ وفق المعادلة التالية [17 - 18]:

$$\sigma^{GT}(q, \omega) \simeq K(\omega) N_{\sigma\tau} |J_{\sigma\tau}(q)|^2 B(GT) \quad (1.31)$$

حيث: $J_{\sigma\tau}(q)$ التكامل الحجمي لتفاعل المؤثر عند كمية الحركة الخطية ($q = 0$)، $K(\omega)$ معامل حركي، ω

هي الطاقة الكلية المنقولة و $N_{\sigma\tau}$ معامل التشوه.

5-1 تفاعلات تبادل-الشحنة

يحدث تفاعل تبادل-الشحنة (charge-exchange interactions) عن طريق التصادمات النووية، وينتج من

خلال تبادل بروتون ونيوترون بين الجسيم الساقط والنواة الهدف، حيث تشترك تفاعلات تبادل-الشحنة في العديد من

أوجه التشابه مع تفكك بيتا، اين نيوترون يتحول الى بروتون (β^- تفكك) والعكس (β^+ تفكك) نتيجة للتفاعل الضعيف. لذلك فالانتقالات المسموحة لتفاعلات تبادل-الشحنة، الانتقالات الموجية (أي التي لا يمكن وصف مؤثر انتقالها كتقريب مستقل على المواضع والسرعات النكليونات) تقسم الى نوعين انتقال فرمي الذي مؤثره يتعلق فقط بمؤثر الايزوسبين \hat{t}^\pm وانتقال قامو-تايلور اين المؤثر يتناسب مع المؤثر سبين-ايزوسبين $\hat{\sigma}\hat{t}^\pm$.

يمكن تحديد قيم $B(GT)$ بدقة في دراسات تفكك بيتا، لكن أهميتها محدودة ومقيدة بقيم طاقة التفكك Q_β ، حيث يمكن دراستها من أجل الحالات المنخفضة فقط وأيضا الانتقال باتجاه واحد فقط. من أجل التغلب على هذه القيود والحصول على قيم عند طاقات اثاره عالية، لابد من استخدام تفاعلات تبادل - الشحنة مثل (p, n) او $(^3He, t)$ ، (n, p) أو $(d, ^2He)$ او $(^3He, t)$ [19]. في الحقيقة تفاعلات EC معقدة جدا تجريبيا، تعتمد على طاقة الجسميم الساقط وخصائص النواة الهدف. يمثل الشكل (2.1) صورة لمطياف The Grand Raiden جامعة اوساكا باليابان اين تتم التفاعلات EC.



الشكل (2.1): مطياف The Grand Raiden [19 – 20].

6-1 خلاصة

معرفة خواص النواة، وقواعد الاصفاء في الانتقالات قامو تايلور تلعب دورا مهما في معرفة بنية النواة الناتجة. في دراستنا هذه سوف نهتم بالتفاعل EC من نوع $(^3He, t)$. ودراسة انتقالات قامو تايلور (الانتقال المسموح فقط).

الفصل الثاني

نموذج القشرة النووي

و كود نيوشيل أكس (NuShellX Code)

1-2 مقدمة

فهم خصائص الانوي في الفيزياء النووية مثل الكتل النووية، الطاقة، الدوال الموجية وتوزيعات كثافة النكليون هي دائما المشكلة الرئيسية. لذلك، تم تطوير العديد من النماذج لحل هذه المسائل وإنشاء بنية للنواة. أهمها نموذج القشرة، الذي يسمح استعمال المعالجة الكمية لنموذج القشرة لنظام متعدد الجسيمات من تركيب اكواد تستعمل بكل سهولة حتى يتسنى لنا مقارنتها مع التجربة

2-2 نموذج القشرة النووي (Nuclear shell model)

ادخل نموذج القشرة النووي من طرف Mayer [21] و Jensen ومجموعته [22] سنة 1949، لحل لغز الانتظام الملاحظ في خصائص النووية المتعلقة باعداد البروتونات Z والنيوترونات N : 2، 8، 20، 28، 50... التي تسمى بالأعداد السحرية (magic numbers). حيث تطابقت الاعداد السحرية المتحصل عليها من نموذج القشرة النووي مع المعطيات التجريبية. ومن ذلك الوقت وهذا النموذج في تطور.

كتقريب من الدرجة الأولى يفترض نموذج القشرة (تقريب الجسيمة المنفردة)، ان كل نكليون من النظام المشكل من A يتحرك مستقلا تحت تأثير قوة مركزية جاذبة ناتجة عن متوسط التأثير الناتج عن باقي النكليونات ($A - 1$)، نتيجة لهذه القوة المركزية (الجهد المركزي) يكون لنكليون طاقة وعزم حركي مداري محددين (مكممة) بشكل مشابه للإلكترونات الذرية [12, 23].

نفرض يتحرك نكليون في كمون متناظرا كرويا، توصف هذه الحركة بمعادلة شرودنجر (the Schrödinger equation) لجسيم واحد كما يلي:

$$(T + U(r))\psi_a(\vec{r}) = E_a\psi_a(\vec{r}) \quad (2.1)$$

اين a تمثل مجموع الاعداد الكمية، T مؤثر الطاقة الحركية و $U(r)$ هو طاقة الكمون الكروي المتوسط الذي يتحكم في النكليون المنفرد، E_a طاقة المنفصلة لجسيم المنفرد.

تشكل الدوال الموجية لجسيم المنفرد $\psi_a(\vec{r})$ مجموعة كاملة من الحالات المتعامدة (أساس):

$$\int \psi_{a'}^*(\vec{r}')\psi_a(\vec{r})d\vec{r} = \delta_{aa'} = \begin{cases} 1 & \text{si } a' = a \\ 0 & \text{si } a' \neq a \end{cases} \quad (2.2)$$

من أجل نظام A -جسيم مستقلين، يعطى هاملتون في هذه الحالة كمجموع من هاميلتون لكل جسيم منفرد وفقا لهذه العلاقة:

$$H_0 = \sum_{i=1}^A (T_i + U(r_i)) = \sum_{i=1}^A h_0(i) \quad (2.3)$$

يرتكز نموذج القشرة على ان متوسط التفاعل بين النكليونات يمكن تمثيله بتفاعل لنكليون منفرد مع الحقل المتوسط الناتج من $(A - 1)$ نكليونات الأخرى. و بأخذ في الاعتبار لارتباط المتبادل بين النكليونات الحد V_{ij} يأخذ في الاعتبار التفاعل الباقي تم إدخاله في عبارة الهاميلتوني:

$$H = \sum_{i=1}^A T_i + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^A V_{ij} \quad (2.4)$$

تم ادخال $\frac{1}{2}$ في حد تفاعل جسيمين لتجنب الحساب المزدوج. تم اهمال الحدود ثلاثية الجسيمات واعلى من ذلك. ندخل الكمون للنكليونات منفردة المعادلة (2,3) في المعادلة (2.4) فنتحصل على :

$$\begin{aligned} H &= \sum_{i=1}^A (T_i + U(r_i)) + \left(\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^A V_{ij} - \sum_{i=1}^A U(r_i) \right) \\ &= H_0 + H_{residual} = \sum_{i=1}^A h_0(i) + H_{residual} \end{aligned} \quad (2.5)$$

يمثل $H_{residual}$ التفاعل المتخلف (الباقي) وهو أصغر من H_0 .

في النموذج القشرة النووي، يتم اختيار $U(r)$ ذو صيغة بسيطة ويعطي في نتائجه الاعداد السحرية، و التفاعل الباقي يكون قطري في الأساس المعرف بالدوال الذاتية ل H_0 .

نظرا لان كثافة النكليونات ثابتة في داخل النواة، فيكون الكمون المتوسط الناتج على كل النكليونات المنفردة هو كمون *Wood-Saxon*:

$$U_{ws}(r) = \frac{V_0}{1 - \exp\left(\frac{r - R}{a}\right)} \quad (2.6)$$

حيث

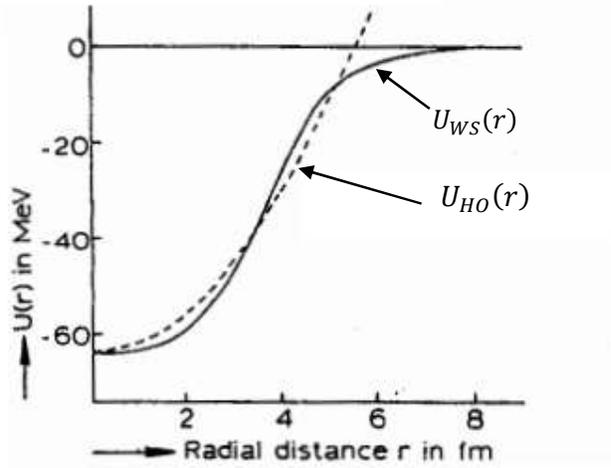
$$V_0 \approx -50 \text{ MeV}, R \approx 1,2A^{1/3} \text{ fm}, \quad a \approx 0,5 \text{ fm}$$

عمليا، يتم اختيار كمون الهزاز التوافقي (harmonic oscillator):

$$U_{HO}(r) = \frac{1}{2} M_N \omega^2 r^2 \quad (2.7)$$

حيث ω تردد النيكلون. و M_N هي كتلة النيكلون.

يوضح الشكل (1.2) مقارنة بين كمون الهزاز التوافقي $U_{HO}(r)$ الذي يظهر بخط متقطع وكمون *Wood-Saxon* الممثل بالخط المستمر. يظهر الكمونين بنفس العمق عند $r = 0$.



الشكل (1.2): كمون نكلون منفرد $U(r)$ من اجل $A = 29$ [11].

الدالة الموجية لنكلون منفرد ϕ_a (بدون اعتبارات لسبين) يمكن كتابتها كجداء لدالة موجية قطرية $R_{nl}(r)$ ودالة توافقات كروية $Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi)$:

$$\phi_a = \phi_{nlm_l} = \frac{R_{nl}(r)}{r} Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi)$$

حيث n عدد أنماط الدالة الموجية القطرية، l العزم المداري و m_l العزم المغناطيسي المداري (مسقط على Z) ت في وحدة \hbar وتحقق العلاقات:

$$\vec{l}^2 Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi) = l(l+1) Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi) \quad (2.8)$$

$$\hat{l}_z Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi) = m_l Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi) \quad (2.9)$$

وبالتالي تصبح معادلة شرودنجر الموجية القطرية $R_{nl}(r)$:

$$\frac{d^2}{dr^2} R_{nl}(r) + \frac{2M_N}{\hbar^2} \left[E - \frac{1}{2} M_N \omega^2 r^2 - \frac{l(l+1)\hbar^2}{2M_N r^2} \right] R_{nl}(r) = 0 \quad (2.10)$$

حيث E القيم الذاتية للطاقة.

لدينا مؤثر التماثل $\hat{\pi}$ يحول الفضاء (r, ϑ, φ) كما يلي:

$$(r, \vartheta, \varphi) \xrightarrow{\hat{\pi}} (r, \pi - \vartheta, \pi + \varphi)$$

$$\hat{\pi} \phi_{nlm_l}(\vec{r}) = \hat{\pi} \left(\frac{R_{nl}(r)}{r} Y_{lm_l}(\vartheta, \varphi) \right) = (-1)^l \phi_{nlm_l}(\vec{r}) \quad (2.11)$$

تعرف الحالة النووية للنكليون بالأعداد الكمية:

$$n = 1, 2, 3, 4 \dots \dots$$

$$l = 0, 1, 2, 3 \dots \dots \begin{cases} l = 0, 2, 4, \dots & \text{(تماثل زوجي)} \\ l = 1, 3, 5, \dots & \text{(تماثل فردي)} \end{cases}$$

$$X = s, p, d, f \dots$$

ندخل عدد كمي N حيث :

$$N = 2n + l - 2 = 2(n - 1) + l = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2.12)$$

وتعطى طاقة النكليون في نموذج القشرة لجسيم منفرد كالتالي [24]:

$$E_v = \left(N + \frac{3}{2} \right) \hbar \omega \quad (2.13)$$

حيث:

$$\hbar \omega \simeq 40A^{-\frac{1}{3}} MeV \quad (1.14)$$

تسمى الطبقة بالحالة (مستوى الطاقة) ونرمز له بـ nX . العدد الأقصى للبروتونات او النيوترونات في كل مستوى طاقة يساوي:

$$(2s + 1)(2l + 1) = 2(2l + 1) \quad (2.15)$$

عدد النكليونات في كل مستوي حسب القاعدة السابقة ليس متطابق تماما مع الأرقام السحرية التجريبية. لذلك قاما

كل من M. Mayer و J. Jensen ([21 - 22]) بإدخال التفاعل القوي المتبادل بين العزم الحركي السبيني \vec{s} (الذاتي) والعزم المداري \vec{l} للنكليون (تفاعل سبين-مدار):

$$V(r) = \frac{1}{2} M \omega^2 r^2 + V_{s-o}(r) \quad (2.16)$$

$$V_{s-o}(r) = f(r)(\vec{l} \cdot \vec{s}) \quad (2.17)$$

حيث $f(r)$ دالة ذات إشارة سالبة تتعلق بـ r [25].

يمكن إعادة صياغة هاميلتوني h_0 في الاحداثيات الكروية بإضافة تفاعل سبين-مدار وفق هذه المعادلة:

$$h_0 = \left[-\frac{\hbar^2}{2M_N} \frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{2} M_N \omega^2 r^2 + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2M_N r^2} + f(r)(\vec{l} \cdot \vec{s}) \right] = E_N \quad (2.18)$$

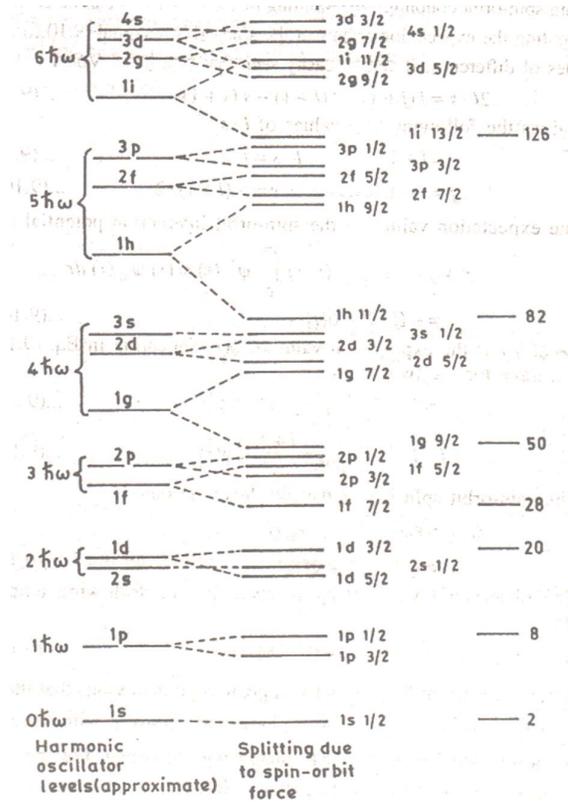
يعطى لدينا العزم الحركي الكلي للنكليون بهذا الشكل:

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{s} \rightarrow j^2 = l^2 + s^2 + 2\vec{l} \cdot \vec{s}$$

$$\vec{l} \cdot \vec{s} = \frac{1}{2}(j^2 - l^2 - s^2) = \frac{\hbar^2}{2}(j(j+1) - l(l+1) - s(s+1))$$

بما ان $s = \frac{1}{2}$ من اجل كل نكليون، تأخذ j قيمتين محتملتين $j = l + \frac{1}{2}$ و $j = l - \frac{1}{2}$ وتصبح طاقة الحالة :

$$E_N = \left(v + \frac{3}{2} \right) \hbar\omega + \langle f(r) \rangle \begin{cases} -\frac{l}{2} & \text{if } j = l + \frac{1}{2} \\ +\frac{1}{2}(l+1) & \text{if } j = l - \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2.19)$$



الشكل (2.2): مخطط مستويات نموذج القشرة عند الاخذ بمختلف حدود في

هاملتون هزاز التوافقي البسيط [24].

تمثيل حالات النواة:

$$(n_1 l_1 j_1)^{2(2j_1+1)} (n_2 l_2 j_2)^{2(2j_2+1)} \dots (n_i l_i j_i)^{2(2j_i+1)} \quad (2.20)$$

لأسف، هاميلتون لا يسمح بوصف صحيح إلا من أجل الانوية القريبة من الطبقات الممتلئة (ذات اعداد سحري)، من أجل الانوية الأخرى يجب الاخذ بعين الاعتبار التفاعل الباقي $H_{residual}$ وقطره في الأساس الحالات الذاتية ل H_0 .

2-3 مكونات النموذج الطبقي (نموذج القشرة)

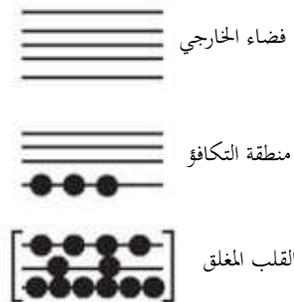
في الواقع حل معادلة شرونجر لا يتم في فضاء ذو بعد لا نهائي ، يجب ان نعرف فضاء جزئي اين حل معادلة شرونجر مع هاميلتون الفعال يسمح بإيجاد طاقات النواة $E[15]$:

$$H\psi = E\psi \rightarrow H_{eff}\psi_{eff} = E\psi_{eff} \quad (2.21)$$

أي حساب في نموذج القشرة (الطبقات) يستوجب:

- تحديد فضاء التكافؤ (منطقة التكافؤ).
- تحديد التفاعل المؤثر (الفعال).
- بناء وكر مصفوفة الطاقة

يتضمن اختيار فضاء التكافؤ الى تحديد ثلاث مناطق مميزة: قلب المغلق اين كل المدارات ممتلئة كلياً، وفضاء التكافؤ اين المدارات ممتلئة جزئياً والفضاء الخارجي الذي يشمل كل المدارات غير مملوءة كما هو موضح في الشكل (3.2).



الشكل (3.2). مخطط المدارات المشكلة للقلب، منطقة التكافؤ و الفضاء الخارجي [15].

2-4 اختيار منطقة التكافؤ والتفاعل المؤثر

منطقة التكافؤ تسمى أيضا بنموذج الفضاء (model espace) تحتوي على درجات الحرية الضرورية لوصف بعض الحالات وخصائصها بطريقة معينة، يرفق كل نموذج فضاء بتفاعلات مؤثرة محددة نذكر بعض النماذج:

القشرة- p (p -shell): معرفة بالمدارات $1p_{3/2}$ و $1p_{1/2}$ ، يوصف بخصائص الانوية ذات $N > 2$ و $Z < 8$ ، والقلب المغلق ${}^4_2\text{He}$. مثال على التفاعل المؤثر في هذه المنطقة: ckpot [26 – 27].

القشرة- sd (sd -shell): معرفة بثلاث مدارات $1d_{5/2}$ ، $2s_{1/2}$ و $1d_{3/2}$ التي تشكل فضاء التكافؤ الطبيعي للانوية المشكلة من عدد بروتونات ونيوترونات محصورة بين الاعداد السحرية $8 \leq Z \leq 20$ و $8 \leq N \leq 20$ أي ذات القلب المغلق ${}^{16}_8\text{O}$. وأهم التفاعلات المؤثر في هذه المنطقة: USDA و USDB [28].

القشرة- fp (fp -shell): معرفة بأربع مدارات $1f_{7/2}$ ، $2p_{3/2}$ ، $1p_{1/2}$ و $2f_{7/2}$ التي تشكل فضاء التكافؤ الطبيعي للانوية المشكلة من عدد بروتونات ونيوترونات محصورة بين الاعداد السحرية $Z \geq 20$ و $N \geq 20$ أي ذات القلب المغلق ${}^{16}_8\text{O}$. أهم التفاعلات المؤثر في هذه المنطقة: KB3G، GXFP1a و FPD6 [29].

2-5 مفهوم القوة الضائعة في انتقال قامو-تايلور (معامل التخفيض)

قوة الانتقال قامو-تايلور هي مقدار فيزيائي حساس لشكل النووي للحالات المسؤولة على الانتقال، يمكن استعمالها لتحقق من فرضيات نموذج الطبقات. ان مقارنة قوة انتقال قامو-تايلور المحددة تجريبيا في العديد من الاعمال وتلك المحسوبة في إطار نموذج تكشف على تفاوت كبير في القيم للقوة النظرية.

في الواقع قبل اجراء مقارنة الحسابات النظرية مع التجريبية يجب ان تضرب القيم النظرية لقوة انتقال قامو-تايلور في معامل يسمى معامل التخامد (او معامل التخفيض) q^2 (quenching factor)، ويكون محصور على الاغلب بين $(0.7)^2$ و $(0.8)^2$ وذلك حسب نموذج الفضاء (منطقة القشرة) [13,32].

رغم العديد من الاعمال والجهود من أجل شرح أصل مسألة القوة الضائعة خلال ثلاثين سنة يوجد القليل من التفسيرات. أما أعمال Bertsch، هذه الطاقة الضائعة تقع في مجال طاقة الاثارة بين 20MeV الى 50MeV بعد رنين قامو-تايلور يمكن ان تكون بسبب التفاعل الباقي بين الحالات $1p - 1h$ و $2p - 2h$ [30 – 31].

يوضح الجدول (1,2). قيم معامل التخامد q حسب منطقة القشرة، ننبه ان هذه القيم قد تتغير بزيادة او النقصان لأنها غير ثابتة (دائما هناك اعمال من أجل الحصول على قيم دقيقة) وتحسب عن طريق التجربة من خلال العلاقة بين قوة انتقال قامو-تايلور التجريبية $B(GT)_{exp}$ و النظرية (نموذج القشرة) $B(GT)_{theo(MC)}$:

$$B(GT)_{exp} = q^2 B(GT)_{theo(MC)} \quad (2.22)$$

الجدول (1.2). قيم معامل التخماد q حسب منطقة القشرة.

منطقة القشرة	معامل التخماد او التخفيض (q)
القشرة- p	$1 - 0.19 \left(\frac{A}{16}\right)^{0.35}$ [33]
القشرة- sd	0.76 [34]
القشرة- fp	0.744 [35]

2-6 كود نيوشيل أكس (NuShellX Code)

من أجل فضاء تكافؤ معطى، الاختيار الأمثل للاساس اين يتم قطر الهاميلتون مشروط بفزياء مسألة معينة يجب حلها. حيث يمكن تمييز عدة أسس مختلفة طبعاً اعتماداً على الحالات والخصائص التي نرغب في وصفها، وأيضاً نوع النواة كروية او مشوها مثلاً.

تم اقتراح طرق لمعالجة حساب متعدد الجسيمات اعتماداً على اساسين رئيسيين:

✓ مخطط- M (M-Scheme)

✓ مخطط- J او JT (J-Scheme)

ابعاد الأساس لمخطط- M أكبر من ذلك الخاص بمخطط- J ورغم ذلك فان حساب عناصر المصفوفة في الأول

أسهل بكثير من الثاني. أهم الاكواد التي تم تطويرها: Oxbash/Nushell/NushellX

Oxbash, W. D. M. Rae, B. A. Brown *et al.* (1976)

NuShell, W. D. M. Rae (2007)

NuShellX, W. D. M. Rae (2008)

NuShellX@MSU, B. A. Brown (2008)

كود NuShellX هو مجموعة من أكواد الكمبيوتر التي كتبها بيل-راي [36]، والتي تستخدم للحصول على الطاقات الدقيقة والمتجهات الذاتية والتداخلات الطيفية للحالات المنخفضة في حسابات مصفوفة هاميلتون لنماذج القشرة ذات ابعاد كبيرة جداً للأساس، يستخدم الاساس تزواج J -نيوترون-بروتون، و ابعاد مصفوفة المخطط- J التي تصل إلى 100 مليون [37].

ولقد تم تطوير الأكواد التي كتبها بيل راي من أكواد نموذج القشرة القديم Oxbash و Nushell ، صمم نيوشال أكس لتنفيذ الأوامر استعمال نافذة خاصة تشتغل باوامر MSDOS. يوضح الشكل (2-4). صورة توضيحية على نافذة عمل نيوشال أكس.

```

nushellx-login
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>call login-nushellx.bat intel
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem number of cores = 2
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem AMD64 Intel64 Family 6 Model 69 Stepping 1, GenuineIntel
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem nushellx data files c:\aaa\nushellx\nushellx\sps\
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem mass.for data files c:\aaa\nushellx\nushellx\toi\mass-data\
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem toi.for data files c:\aaa\nushellx\nushellx\toi\toi-data\
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>set OMP_NUM_THREADS=10
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem intel nushellx programs
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>rem ----- nushellx login complete -----
c:\aaa\nushellx\nushellx\windows\login>
    
```

الشكل (4.2). صورة لنافذة كود نيوشال أكس تعمل على وينداوز.

يحتاج كود نيوشال أكس الى مدخلات مهمة حتى تتمكنه من القيام بالحساب مهمة ما: مستويات الطاقة، معاملات المطيافية وانتقالات قاما وانتقالات قامو-تايلور. أهم هذه المدخلات كما هو موضح في الشكل (5.2).

- نموذج الفضاء.
- التفاعل المؤثر.

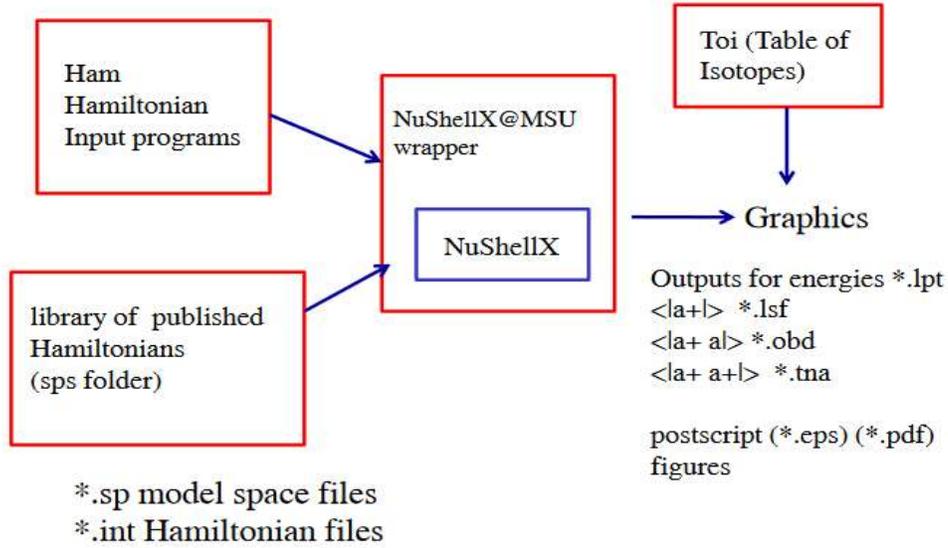
هذه المدخلات يمكن ان نجدها في مجلد **sps**، داخل ملف **label.dat** يحتوي هذا الملف على اغلب تفاعلات المؤثرة المقابلة لأغلب نماذج فضاء.

- هناك مدخلات أخرى تتعلق بالانوية المدروسة

مخرجات كود نيوشال أكس:

- ملفات **ans** *: تحتوي على معلومات على المدخلات ويمكن تغييرها واجراء حساب جديد.
- ملفات **lpe** *: معلومات على الدوال الموجية.
- ملفات **lpt** *: مخطط مستويات الطاقة.

- ملفات *.eps* : مخططات المقارنة مع النتائج التجريبية.
- ملفات *.deo* : مخطط تفكك قاما.
- ملفات *.lsf* : معاملات الطيفية.



الشكل (5.2). مخطط توضيحي لطريقة عمل **NushellX** [37].

7-2 خلاصة

كود نيوشال أكس يركز على نموج القشرة النووي، حيث يتم حل معادلة الشرودنجر في حالة الجسيمة المنفردة واطافة التصحيح الناتج على تفاعل الجسيمات مع بعض وذلك عن طريق ادخال التفاعل المؤثر.

الفصل الثالث

حساب قوة الانتقال قامو-تايلور الطبقة **fp**

1-3 مقدمة

تعتبر قوة انتقالات قامو-تايلور $B(GT)$ مقدارا فيزيائي مهم جدا في فهمنا للبنية النووية، وكذلك في حساب العديد من عمليات الفيزياء الفلكية. في هذا الفصل سوف نهتم بدراسة نظرية عن طريق كود نيوشال اكس في حساب قوة انتقالات قامو تايلو في انوية ذات القشرة fp : سنهتم ببعض نظائر $Ca \rightarrow Sc$ ومقارنة النتائج بالتجريبي المتواجد في المراجع.

2-3 قوة الانتقال قامو-تايلور للقشرة fp

كما ذكرنا في الفصل الأول، ان انتقالات قامو-تايلور (GT) التي تحقق $\Delta J^\pi = 1^+$ بواسطة مؤثر البسيط سبين-ايزوسبين $\hat{\sigma}\hat{t}$ و التي تتميز بخاصية عدم انتقال عزم المداري ($\Delta L = 0$) وذو طبيعة نكوص (انعكاس الاتجاه) سبين-ايزوسبين (spin-isospin flip) ($\Delta S = 1$ و $\Delta T = 1$).

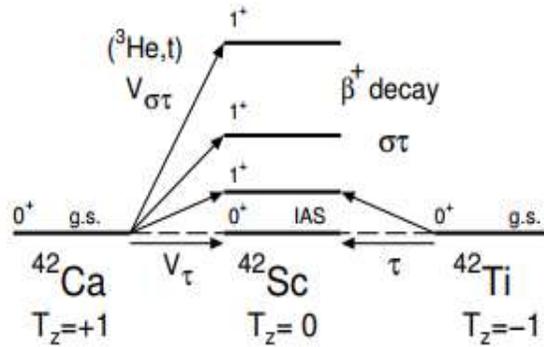
انتقالات قامو-تايلور من نواة ذات Z و N الى حالات لنواة مجاورة ذات $Z \mp 1$ و $N \pm 1$ تسمى انتقالات GT^\pm عن طريق التشابه بتفكك بيتا β^\pm . هذه الانتقالات لها طبيعة تحقق $\Delta T_z = \pm$ ، اين T_z هو المركبة الثالثة للايزوسبين المعرفة بـ $\left(\frac{N-Z}{2}\right)$ [38].

سنهتم كما اشرنا سابقا لبعض التفاعلات $Ca \rightarrow Sc$ ، لذلك من الضروري معرفة بعض خصائص هذه التفاعلات قبل ادراجها في كود نيوشال اكس واستخراج قوة انتقالات قامو تايلور.

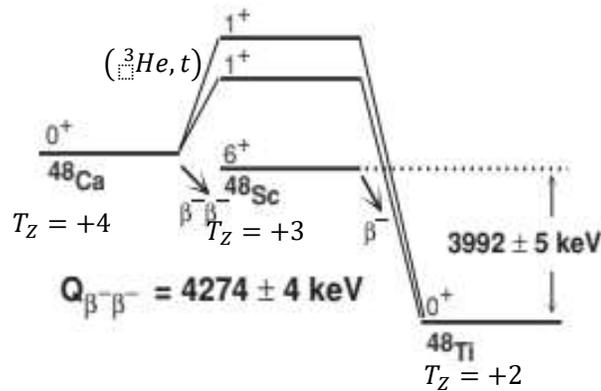
	Co48	Co49	Co50	Co51	Co52	Co54	Co55	Co56	Co57		
		435 MS	44 MS	420 MS	115 M	19328 MS	17.53 H	77233 D	271.74 D		
Fe45	Fe46	Fe47	Fe48	Fe49	Fe50	Fe52	Fe53	Fe54	Fe55	Fe56	
330 MS	20 MS	27 MS	44 MS	70 MS	155 MS	8745 H	8.51 M	5845	2.73 Y	91.754	
Mn49	Mn50	Mn51	Mn52	Mn53	Mn54	Mn55					
382 MS	28929 MS	462 M	5.90 D	374000 Y	312.11 D	100					
Cr48	Cr49	Cr50	Cr51	Cr52	Cr53	Cr54					
21 MS	53 MS	40 MS	0.26 S	300 MS	21.36 H	42.3 M	4.345	27.7025 D	83.789	9.301	2.365
V42	V43	V44	V45	V46	V47	V48	V49	V50	V51	V52	V53
455 MS	4800 MS	111 MS	547 MS	428.50 MS	32.6 M	1.59735 D	330 D	0.230	99.730	3.743 M	1.60 M
Ti41	Ti42	Ti43	Ti44	Ti45	Ti46	Ti47	Ti48	Ti49	Ti50	Ti51	Ti52
80 MS	199 MS	184.8 M	8.25	7.84	7.41	5.18	5.76 M	1.7 M			
Sc40	Sc41	Sc42	Sc43	Sc44	Sc45	Sc46	Sc47	Sc48	Sc49	Sc50	Sc51
182.33	526.3 MS	90.67	3.880 H	3.97 H	100	89.791	3.34020 D	43.671	57.3 M	102.5	12.4 S
Ca39	Ca40	Ca41	Ca42	Ca43	Ca44	Ca45	Ca46	Ca47	Ca48	Ca49	Ca50
749.6 MS	95.94	0.9000 Y	0.647	1.135	2.09	62.61 D	0.034	4.536 D	0.187	3.718 M	13.9 S
K38	K39	K40	K41	K42	K43	K44	K45	K46	K47	K48	K49
7.436 M	93.29H	0.0117	6.700	12.360 H	22.3 H	22.13 M	17.3 M	105 S	17.50 S	6.8 S	1.26 S

الشكل (1.3): خريطة انوية للقشرة fp، توضيح نظائر Ca [39].

يمثل الشكل (1.3) خريطة للانوية محل الدراسة لنظير ^{42}Ca و النظير ^{48}Ca للقشرة fp من نموذج القشرة النووي، نشير أن النظير ^{42}Ca له البنية $^{40}\text{Ca} + 2n$ ، اين ^{40}Ca يمثل قلب مغلق في انتقالات قامو-تايلور (GT) و النظير ^{48}Ca له البنية $^{40}\text{Ca} + 8n$ ، اين ^{40}Ca يمثل قلب مغلق. يمثل الشكل (4.3) مقارنة بين طيف التجريبي لتفاعلين EC على الترتيب: $^{48}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{48}\text{Sc}$ و $^{42}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{42}\text{Sc}$ ، من أجل $T_z = 4$ الى نواة الهدف ^{48}Ca و $T_z = 1$ لنواة الهدف ^{48}Ca (قيم الايزوسبين موضحة في الشكل (2.3) و (3.3) على التوالي).



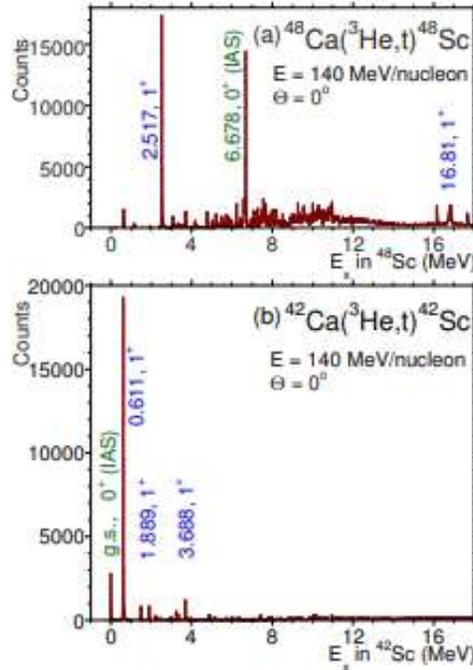
الشكل (2.3). مخطط تناظر الايزوسبين $T_z = \pm 1, 0$ من أجل ايزوبار $A = 42$.



الشكل (3.3). مخطط الايزوسبين $T_z = +4, +3, +2$ من أجل ايزوبار $A = 48$ [40].

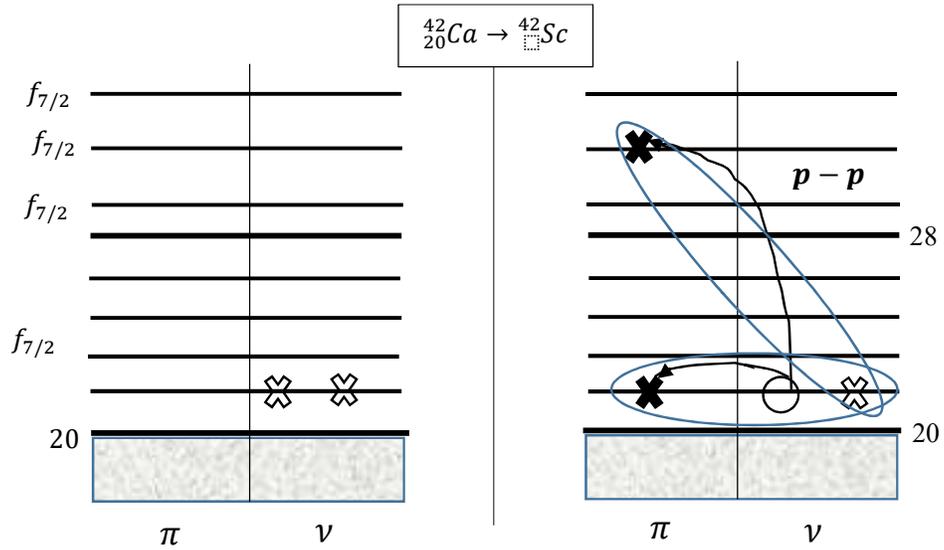
في الطيف التجريبي كل الحالات البارزة هي اثاره قامو-تايلور (GT) ذات الطبيعة $\Delta L = 0$ في الشكل (4.3) (a) نلاحظ العديد من حالات قامو-تايلو منفصلة من أجل المنطقة $E_x = 5 - 13\text{MeV}$ (طاقة الاثارة) للنواة النهائية ^{48}Sc . وتشكل في مجملها تنوعا عريضا. من جهة ثانية من أجل ^{42}Sc (لاحظ الشكل (4.3) (b)) أغلب

قوة قامو-تايلور في طاقات الاثارة المنخفضة (lowest-energy) عند $J^\pi = 1^+$ حالة قامو-تايلو عند 0.611MeV .

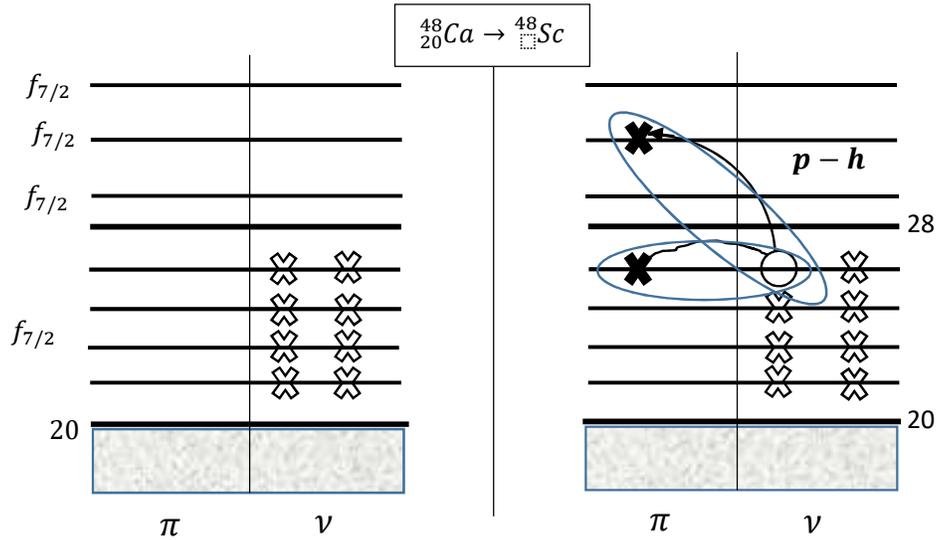


الشكل (4.3): مقارنة الاطياف تجريبية للتفاعلات $^{48}\text{Ca}(^3\text{He},t)^{48}\text{Sc}$ و $^{42}\text{Ca}(^3\text{He},t)^{42}\text{Sc}$ على الترتيب عند 0° [41].

في الشكل (5.3) و الشكل (6.3) المستويات المشغولة بالنيوترونات π و بالبروتونات ν ممثلة في الشكل بعلامة \otimes و \times على الترتيب. شكل البسيط لنموذج القشرة من أجل $A = 42$ و 48 لايزوبار Ca تتمتع كما اشرفنا سابقا بقلب مغلق ^{40}Ca تمثيل توزيع انتقال قامو-تايلور GT المساهم بطريقتين فقط: $\nu f_{7/2} \rightarrow \pi f_{7/2}$ و $\nu f_{7/2} \rightarrow \pi f_{5/2}$. ورغم ذلك نلاحظ انهما يختلفان في النظر Sc النهائي. في تمثيل ^{42}Sc لديه المنشأ π particle - ν particle' خارج القلب مغلق ^{40}Ca . من جهة ثانية في ^{48}Sc لديه المنشأ π particle - ν hole' [41].



الشكل (5.3): تمثيل نموذج القشرة SM (نموذج القشرة) قبل وبعد تفاعل ${}^{42}_{20}\text{Ca}({}^3\text{He}, t){}^{42}_{21}\text{Sc}$ ، انتقال قامو-تايلور. التفاعل $p - p$ تنافر [41].



الشكل (6.3): تمثيل SM (نموذج القشرة) قبل وبعد انتقالات قامو-تايلور للتفاعل ${}^{48}_{20}\text{Ca} \rightarrow {}^{48}_{21}\text{Sc}$. التفاعل $p - h$ تجاذب [41].

3-3 النتائج والمناقشة

يوجد في الشكل (7.3) مدخلات الانوية المشاركة في التفاعلات في كود نيوشال أكس وتتحصل في الأخير على ملف قوة قامو-تايلو وبعد المعالجة البيانية تحصلنا على النتائج الممثلة في :

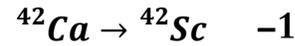
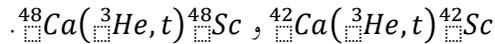
```

1 - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
-----
lpe, 0      ! option (lpe or lan), neig (zero=10)
fp         ! model space (*.sp) name (a8)
n          ! any restrictions (y/n)
gx1a      ! interaction (*.int) name (a8)
21         ! number of protons
48         ! number of nucleons
0.0, 4.0, 1.0, ! min J, max J, del J
0          ! parity (0 for +) (1 for -) (2 for both)
-----
lpe, 0      ! option (lpe or lan), neig (zero=10)
20         ! number of protons
48         ! number of nucleons
0.0, 2.0, 1.0, ! min J, max J, del J
0          ! parity (0 for +) (1 for -) (2 for both)
-----
st         ! option

1 - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
-----
lpe, 0      ! option (lpe or lan), neig (zero=10)
fp         ! model space (*.sp) name (a8)
n          ! any restrictions (y/n)
gx1a      ! interaction (*.int) name (a8)
21         ! number of protons
48         ! number of nucleons
0.0, 6.0, 1.0, ! min J, max J, del J
0          ! parity (0 for +) (1 for -) (2 for both)
-----
lpe, 0      ! option (lpe or lan), neig (zero=10)
20         ! number of protons
48         ! number of nucleons
0.0, 0.0, 1.0, ! min J, max J, del J
0          ! parity (0 for +) (1 for -) (2 for both)
-----
st         ! option

```

الشكل (7.3): المدخلات المستخدمة في كود نيوشال أكس لحساب قيم قوة الانتقال قامو-تايلور للتفاعلين

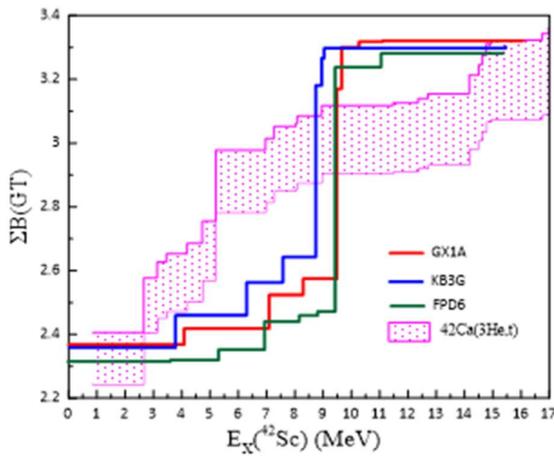


الشكل (8.3) يوضح مقارنة بين النتائج التجريبية [42 – 44] و حسابات نموذج القشرة (كود نيوشال أكس) لقيم توزيع قوة انتقال قامو-تايلور $B(GT)$ ل ${}^{42}\text{Ca} \rightarrow {}^{42}\text{Sc}$ بدلالة طاقة الاثارة للنواة ${}^{42}\text{Sc}$. قمنا بحساب قيم من الحالة الأساسية ${}^{42}\text{Ca}(0^+)$ الى الحالة ${}^{42}\text{Sc}(1^+)$ بدون أي اقتطاع باستخدام التفاعلات المؤثرة باستخدام معامل التخامد (quenching factor) المساوي الى $(0.74)^2$ ، حتى تتلاءم مع النتائج التجريبية (اشرنا الى ذلك في الفصل الثاني). من خلال ملاحظة المنحنيات نجد توافق كبير بين منحنيات الحسابات النظرية لنموذج القشرة باستعمال التفاعلات المؤثرة السابقة و منحني التجريبي في مجال واسع من طاقة الاثارة ${}^{42}\text{Sc}$ من 3MeV تصل الى 12MeV كما هو ظاهر في الشكل. نلاحظ ان هناك قيم تجريبية في المجال تقريبا من 1MeV الى 3MeV من طاقة الاثارة للنواة ${}^{42}\text{Sc}$ لم تظهر في الحسابات النظرية باستخدام النماذج الثلاثة لتفاعل المؤثرة ربما يرجع ذلك ان القيم صغيرة لم تحسب او اننا لم نأخذ القيم معامل التخامد بالدقة الكافية. هناك ملاحظة أيضا ان هناك قمة تظهر في

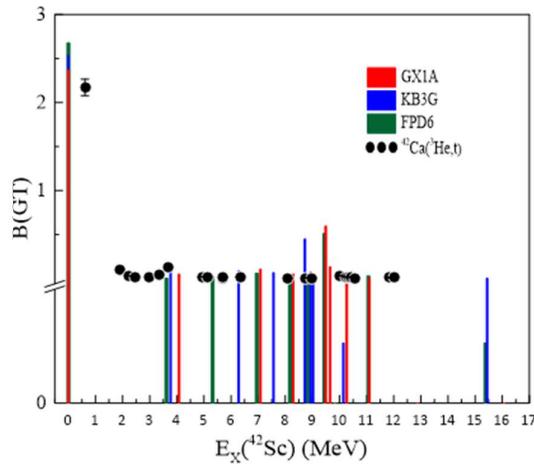
الحسابات النظرية باستخدام التفاعلات المؤثرة الثلاثة لكنها لا تظهر في المنحنى التجريبي وهي تقريبا من $E_x \sim 8.7MeV$ الى $9.8MeV$.

الشكل (9.3) يوضح مقارنة توزيعات $\sum B(GT)$ بين النتائج التجريبية وحسابات مصفوفة الانتقال المستخرجة من كود نيوشال أكس بدلالة طاقة الإثارة للانتقال $^{42}Ca \rightarrow ^{42}Sc$ حيث تم حساب المجموع بعد استخدام معامل التخادم المشار إليه سابقا في تخفيض القيم الحسابية، كما قمنا بحساب القيم الدنيا والقيم القصوى بالاعتماد على معطيات الارتياح الناتج عن الدقة في القياس المستمدة [42 – 44]، وتم ذلك باستعمال الثلاث تفاعلات المؤثرة السابقة الذكر ($KB3G$ ، $GXPFI1$ ، $FPD6$ و $KB3G$).

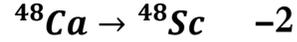
نلاحظ ان عند القيم الصغيرة لطاقة الاثارة تكون عندها $\sum B(GT)$ لنموذج القشرة (النظري باستعمال النماذج الثلاثة لتفاعل المؤثر) أقل من القيم التجريبية وذلك لان هناك قيم نظرية مختلفة في المجال المحصور من $1MeV$ الى $3MeV$ من طاقة الاثارة للنواة ^{42}Sc (اشرنا الى ذلك في المنحنى السابق)، ثم $\sum B(GT)$ يصبح التجريبي أقل من تلك الخاصة بنماذج القشرة. ويعود ذلك كون لانقطاع القيم التجريبية عند $E_x \sim 12MeV$ ، يمكن ان نقول ان هناك تقارب بين $\sum B(GT)$ لنماذج القشرة (النظري) والقيم التجريبية عند طاقات اثار عالية.



الشكل (9.3): مقارنة التوزيع $\sum B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [43,42] للانتقال $^{42}Ca \rightarrow ^{42}Sc$.



الشكل (8.3): مقارنة القيم النظرية لـ $B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [43,42] للانتقال $^{42}Ca \rightarrow ^{42}Sc$.

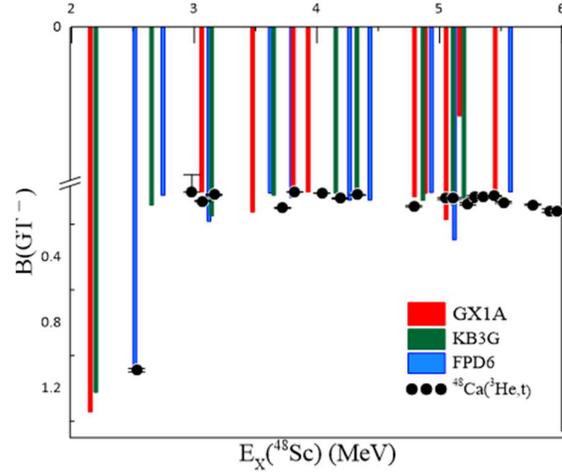
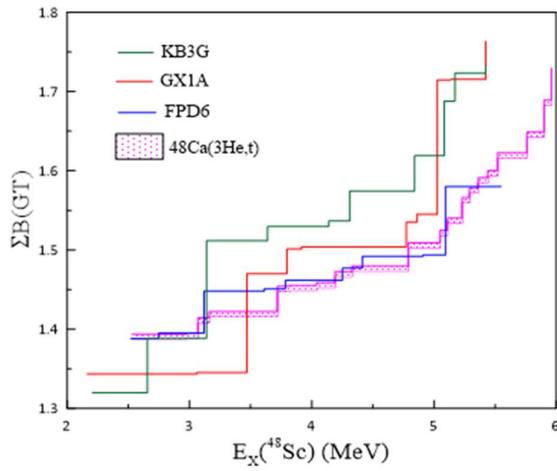


الشكل (10.3). يوضح مقارنة بين النتائج التجريبية [40] [45] و حسابات نموذج القشرة (كود نيوشال أكس) لقيم توزيع قوة انتقال قامو-تايلور $B(GT)$ ل ${}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{48}\text{Sc}$ بدلالة طاقة الاثارة للنواة ${}^{48}\text{Sc}$. قمنا بحساب قيم من الحالة الأساسية ${}^{48}\text{Ca}(0^+)$ الى الحالة ${}^{48}\text{Sc}(1^+)$ بدون أي اقتطاع باستخدام التفاعلات المؤثرة $B(GT)$ في القشرة fp ، تم تخفيض القيم المحسوبة من نموذج القشرة ل $B(GT)$ باستخدام معامل التخامد (quenching factor) المساوي الى $(0.74)^2$ ، حتى تتلائم مع النتائج التجريبية من خلال ملاحظة المنحنيات نجد توافق جيد بين منحنيات الحسابات النظرية لنموذج القشرة باستعمال التفاعلات المؤثرة السابقة و المنحنى التجريبي خصوصا في مجالات طاقة الإثارة $E_x > 3\text{MeV}$ ${}^{42}\text{Sc}$.

التجربة تعطي قيم ل $B(GT)$ عند طاقات الاثارة العالية كبير من 5.5MeV وهو لا يظهر في نماذج القشرة (النظري) ربما سبب يعود الى عدم الملائمة الجيدة لنموذج الفضاء fp عند الطاقات العالية ل ${}^{48}\text{Ca}$ ، يظهر المنحنى أيضا هنا توافق مقبول للقيم التجريبية مع قيم $B(GT)$ لنموذج القشرة مع تفاعل المؤثر $GXPFI1$ أكثر من غيره.

الشكل (11.3) يوضح مقارنة توزيعات $\sum B(GT)$ بين النتائج التجريبية [45,40] وحسابات مصفوفة الانتقال المستخرجة من كود نيوشال أكس بدلالة طاقة الإثارة للانتقال ${}^{48}\text{Ca} \rightarrow {}^{48}\text{Sc}$ حيث تم حساب المجموع بعد استخدام معامل التخامد $(0.74)^2$ في تخفيض القيم الحسابية، [45,40]، وتم ذلك باستعمال الثلاث تفاعلات المؤثرة السابقة الذكر ($KB3G$ و $FPD6$ ، $GXPFI1$).

نلاحظ أن $\sum B(GT)$ التجريبي يتوافق بشكل كبير مع المنحنى البياني لقيم نموذج القشرة لتفاعل المؤثر $FPD6$ عكس التفاعلات الأخرى $FPD6$ و $KB3G$ في مجالات طاقة الإثارة ${}^{42}\text{Sc}$ $E_x < 5.5\text{MeV}$. منحى التجريبي تحت المنحنيات النظرية لان قيم $B(GT)$ كبيرة مقارنة بالتجريبي من اجل $E_x > 3\text{MeV}$. يمكن بصورة عامة القول ان هناك توافق بين النتائج عند طاقات طاقة الإثارة ${}^{42}\text{Sc}$ $E_x < 5.5\text{MeV}$.



الشكل (10.3): مقارنة القيم النظرية لـ $B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [45,40] للانتقال $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$.

الشكل (11.3): مقارنة التوزيع $\Sigma B(GT)$ مع البيانات التجريبية المقابلة [45,40] للانتقال $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$.

خلاصة عامة

لقد قمنا في هذا العمل بدراسة تفاعلات $^{48}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{48}\text{Sc}$ و $^{42}\text{Ca}(^3\text{He}, t)^{42}\text{Sc}$ باستخدام التفاعلات المؤثرة (GXP1A) ، GX1A ، KB3G ، وأيضاً التفاعل FPD6. حيث كان اعتمادنا على الكود Nushellx لحساب قوة الانتقال قامو-تايلور (B(GT)) وقمنا بمقارنتها مع النتائج التجريبية. باعتبار هذا العمل مهماً جداً لفهم كيفية تشكل النجوم النيوترونية والثقوب السوداء وكذا فهم أفضل لتطور المستعرات الأعظمية وتشكل النجوم كان لابد من دراسة مقارنة دقيقة من أجل التنبؤ بمهاته الأحداث الفلكية ولغرض جعل هذا العمل واضحاً فقد قمنا بتقسيمه إلى ثلاث فصول تناولنا فيها الآتي:

في الفصل الأول، تطرقنا إلى مقدمة حول النواة الذرية ومكوناتها وخصائصها مثل السبين والايروسبين وتفككات بيتا و إنتقالات قامو-تايلور والتفاعلات تبادل-الشحنة.

قمنا في الفصل الثاني بوصف نموذج القشرة النووي وكذا فضاءات النموذج والتفاعلات المؤثرة، وفي جزء من هذا الفصل قمنا بشرح على كود نيوشال أكس.

احتوى الفصل الثالث على حساب قوة انتقال قامو-تايلور، مع شرح بعض خصائص التفاعلات التي هي محل دراستنا ومناقشة النتائج ومقارنتها مع النتائج التجريبية.

كون أن خواص النواة، وقواعد الانتقاء في الانتقالات قامو-تايلور تلعب دوراً مهماً في معرفة بنية النواة الناتجة. فقد تم تركيز الاهتمام في دراستنا هاته بالتفاعل EC من نوع $(^3\text{He}, t)$. ودراسة انتقالات قامو تايلور (الانتقال المسموح فقط). حيث أجرينا هاته الدراسة باستخدام حسابات نموذج القشرة بشكل كبير لدراسة قوة الانتقال ومجموعها المتراكم للانتقالات $^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$ و $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$. يعد اختيار $(0.74)^2$ كعامل التخامد لتخفيض تنبؤاتنا النظرية حتى تكون مناسبة للبيانات التجريبية المتحصل عليها من المدروسة، ومن خلال المقارنة بين النتائج التجريبية والنتائج الحسابية فقد لوحظ أن بعض التفاعلات المؤثرة قريبة جداً للتوافق بين نتائج توزيع $B(GT)$ التجريبية والنظرية $^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$ ربما لأنها صممت حديثاً لذلك تتوافق مع المعطيات التجريبية الجديدة غير أن معامل التخامد لا يزال محل دراسات من أجل الحصول على نتائج متطابقة بين القيم الحسابية والتجريبية ، من أجل قيم نصف عمر مضبوطة وكذا تنبؤات أفضل بمسئويات الطاقة .

أخيراً كما فاق يمكن المواصلة مستقبلاً في دراسة المزيد من نوى قشرة fp لتتبع نجاح أو نقص التفاعلات الفعالة المشتقة لنظائر Ca، حيث لا تزال بعض الدراسات منعدمة رغم أهمية هذا الموضوع في التنبؤات الفلكية على غرار دراسات

نظائر غير الكالسيوم، كما أنه يمكن مقارنة نتائج تفاعلات (${}^3\text{He}, t$) مع تفاعلات (p, n) لحصول على دراسة أفضل لقدرة نموذج القشرة على نطاق واسع في التنبؤ بجامو تيلور (GT) قد تكون الدراسة الحالية خطوة مهمة للغاية نحو ، فهم أفضل لتطور المستعرات الأعظمية وتشكل النجوم

قائمة المراجع

- [1] K. S. Krane, “*Introductory Nuclear Physics*“. John Wiley & Sons Inc., (1988).
- [2] G. Sardanashvily, G. Sardanashvily, “*In memoriam: Dmitri Ivanenko (1904-1994)*”, Science Newsletter, vol. 16, (2014).
- [3] C. A. Douma, “*Measurement of the Gamow-Teller states in ^{116}Sb and ^{122}Sb* ”, PhD thesis, University of Groningen (2019).
- [4] R. G. T. Zegers, “*Search for isovector giant monopole resonances*”. PhD thesis; University of Groningen, (1999).
- [5] C. A. Douma, *et al.*, Eur. Phys. J. A 56:51 (2020)
- [6] NuShellX, William Rae, <http://www.garsington.eclipse.co.uk/>.
- [7] B. A. Brown and W. D. M. Rae, Nucl. Data Sheets 120, 115 (2014)
- [8] <https://www.arab-ency.com.sy/ency/details/10558>
- [9] S. M. McDaniel, “*A STUDY OF COMPLEMENTARY REACTIONS: SINGLE-PROTON KNOCKOUT AND SINGLE-PROTON PICKUP*“; PhD thesis, Michigan State University (2011).
- [10] B. Alex Brown, *Lecture Notes in Nuclear Structure Physics*”, (2005).
- [11] Y.L. Lam, “*Isospin Symmetry Breaking in sd Shell Nuclei*”, these de doctorate, Université de Bordeaux1 (2011).
- [12] K. L. G. Heyde, “*The nuclear shell model*”, Ed, Springer and verlage (1990).
- [13] N. Adimi, “*Etude spectroscopie des noyaux riches en protons ^{31}Ar et ^{33}Ar* ”, thèse de Doctorat, Université de Hourri Boumediene, Alger (2011).
- [14] E. Fermi, Z.Phys. 88, 161-177 (1934).
- [15] F. Perrot, “*Etude spectroscopique des isotopes $^{51,52,53}\text{Ca}$ par décroissance β des noyaux riches en neutrons $^{51,52,53}\text{K}$ et interaction effective dans la couche fp*“, thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg, (2004).
- [16] Y.Fujita, *et al.*, Progress in Particle and Nuclear Physics 66, 549-606 (2011).

- [17] T. N. Taddeucci and all, Nucl. Phys. A **469**, 125 (1987), and references therein. W. G. Love, K. Nakayama, and M. A. Franey, Phys. Rev. Lett. **59**, 1401 (1987),
- [18] Y.Fujita, *et al.*, Phys. Rev. C **88**, 014308 (2013).
- [19] C. Scholl, “High-resolution study of the Gamow-Teller strength distribution in the light nuclei ${}^9\text{B}$ and ${}^{13}\text{N}$ using the $(3\text{ He}, t)$ charge-exchange reaction at 420 MeV beam energy”, PhD thesis, der Universität zu Köln (2010).
- [20] M. Fujiwara, *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A **422** (1999) 484-488.
- [21] M.G.Mayer, Phys.Rev. **75**, 1969-1970 (1949).
- [22] O. Haxel, *et al.*, Phys. Rev. **75**, 1766 (1949)
- [23] A. Bohr, B. Mottelson, “The Nuclear Structure”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, (1998).
- [24] S. N. Ghoshal, “Nuclear physics”, S.Chand and Company Ltd, (2009).
- [25] R. F. Casten, Nuclear Structure from a Simple Perspective, Oxford University Press, Oxford, (1990).
- [26] S. Cohen and D. Kurath, Nucl. Phys. A **73**, 1 (1965).
- [27] S. Cohen and D. Kurath, Nucl. Phys. A **101**, 1 (1967).
- [28] B. A. Brown, W. A. Richter, Phys. Rev. C **74**, 034315 (2006).
- [29] Richter, et al., Nucl. Phys. A **523**, 325 (1991)
- [30] E. Poirier, ‘Décroissance Gamow-Teller et déformation nucléaire : mise en œuvre d’un nouveau spectromètre à absorption totale, étude d’isotopes $N \sim Z$ de krypton et strontium’, thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg, (2002).
- [31] G. F. Bertsch *et al.*, Phys. Rev. C **26** 1323 (1982),
- [32] J. C. Thomas, Eur. Phys. J. A **21**, 419–435 (2004)
- [33] W.T. Chou, E.K. Warburton, B.A. Brown, Phys. Rev. C **47**, 163 (1993)
- [34] B.H. Wildenthal, M.S. Curtin, B.A. Brown, Phys. Rev. C **28**, 1343 (1983).
- [35] G. Martinez-Pinedo, A. Poves, Phys. Rev. C **53**, R2602 (1996).
- [36] NuShellX, W.D.M. Rae, <http://www.garsington.eclipse.co.uk>.
- [37] B. A. Brown and W. D. M. Rae, Nuclear Data Sheets **120**, 115 (2014).
- [38] H. Fujita , *et al.*, PHYSICAL REVIEW C **100**, 034618 (2019).

-
- [39] <https://www.nndc.bnl.gov/ensdf>
- [40] E. W. Grewe, *et al.*, Phys Rev. C **76**, 054307 (2007).
- [41] Y. Fujita, Y. Utsno, and H. Fujita, JPS Conf. proc. 23, 012030 (2018).
- [42] J. Chen and B. Singh, “*Nuclear Data Sheets 135*“, 1 (2016)
- [43] https://www.nndc.bnl.gov/ensnds/42/Sc/42ca_3he_t.pdf
- [44] Y. Fujita *et al.*, Phys. Rev. C **91**, 064316 (2015).
- [45] https://www.nndc.bnl.gov/ensnds/48/Sc/48ca_3he_t.pdf

ملخص:

في هذا العمل استخدمنا الكود Nushellx لحساب قوة الانتقال قامو-تايلور $B(GT)$ ، التي تلعب دورا مهما في فهم بنية الانوية. حساب نموذج القشرة للمصفوفة تم باستخدام التفاعلات المؤثرة التالية: $kb3g$ ، $gx1a$ ، $fpd6$ لقشرة fp لتفاعلات: $^{48}Ca(^3He, t)^{48}Sc$ و $^{42}Ca(^3He, t)^{42}Sc$. مقارنة النتائج مع البيانات التجريبية المتوفرة تسمح لنا بالحصول على معلومات واسعة على مستويات الطاقة المثارة، هذا العمل يمكن توسيعه الى انوية أخرى وأيضاً الى تفاعلات مؤثرة أخرى. هذه الدراسة قد تكون خطوة مهمة في فهم المستعرات الأعظم وتكوين النجوم.

الكلمات المفتاحية: انتقالات قامو-تايلور، تفاعل تبادل-الشحنة، نموذج القشرة.

Résumé:

Dans ce travail, nous avons utilisé le code Nushellx pour calculer la force de transition de Gamow-Teller B (GT), qui joue rôle important dans la compréhension de la structure du noyau. Le calcul du modèle en couches de la matrice a été effectué en utilisant les interactions effectives suivantes : $kb3g$, $gx1a$, $fpd6$ pour le couche fp du $^{42}Ca(^3He, t)^{42}Sc$ et $^{48}Ca(^3He, t)^{48}Sc$. La comparaison des résultats avec les données expérimentales disponibles nous permet d'obtenir des informations détaillées sur les niveaux d'énergie excités, ce travail peut être étendu à d'autres noyaux et d'autres interactions effectives. Cette étude peut être une étape importante dans la compréhension des supernovæ et de la formation des étoiles.

Mots clés : transition Gamow-teller, interaction charge-échange, modèle de couches.

Abstract:

In this work, we used NuShellX code to calculate the Gamow-Teller transition Strengths B (GT), which plays an important role in understanding the structure of the nucleus. The calculation of the shell model of the matrix using the fo: $kb3g$, $gx1a$, $fpd6$ effective interactions for the fp model space for: $^{42}Ca(^3He, t)^{42}Sc$ and $^{48}Ca(^3He, t)^{48}Sc$. Comparing results with available experimental data allows us to obtain extensive information on excited energy levels; this work can be expanded to other nuclei and also to effective interactions. This study might be very important step toward better understanding of the supernovæ and star formation.

Key words: Gamow-Teller transitions, interaction exchange-charge, shell model