



الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقة الذرية

هـ ط ذ س - ف / ت د ع ٧٩٣
كانون الأول ٢٠٠٨

تقرير عن دراسة علمية حاسوبية
قسم الفيزياء

تحديد طاقة التناظر النووي في النماذج الهادرونية المتعلقة بالكثافة

الدكتور سامي حداد

هـ ط ذ س - ف / ت د ع ٧٩٣

١	المحتويات
٢	ملخص
٢	Abstract
٢	الكلمات المفتاحية
٢	Keywords
2	١. المدخل
3	٢. النماذج الهادرونية النسبوية
6	٣. طاقة التناظر النووي
6	٤. النتائج والمناقشة
٧	٥. الخلاصة
٨	شكر
٨	المراجع

ملخص

يجري بحث تعلق طاقة التناظر النووي بالكثافة والترابط بين وسائط طاقة التناظر وثمانة القشرة النترونية في النواة 208Pb ، وذلك باستخدام نماذج هادرونية نسبوية. تعلق طاقة التناظر بالكثافة خطي حول كثافة الإشباع النووي. ويوجد ترابط بين ثمانية القشرة النترونية في النواة 208Pb وقيمة طاقة التناظر النووي عند كثافة الإشباع، ولكن ليس مع ميل طاقة التناظر عند كثافة الإشباع.

Abstract

The density dependence of the symmetry energy and the correlation between parameters of the symmetry energy and the neutron skin thickness in the nucleus 208Pb are investigated in relativistic Hadronic models. The dependency of the symmetry energy on density is linear around saturation density. Correlation exists between the neutron skin thickness in the nucleus 208Pb and the value of the nuclear symmetry energy at saturation density, but not with the slope of the symmetry energy at saturation density.

الكلمات المفتاحية

طاقة التناظر النووي، نماذج هادرونية نسبوية، ثمانية القشرة النترونية.

Keywords

Nuclear symmetry energy, Relativistic Hadronic models, Neutron skin thickness.

١. المدخل

تلعب طاقة التناظر النووي دوراً مركزياً في العديد من الظواهر النووية. يعتمد استقرار وخواص الحالة الدنيا للنوى الغنية بالنيوترونات بشكل حساس على طاقة التناظر النووي [2,1]. لطاقة التناظر تأثير قوي على الخواص الأيزوتروبية isoscaling للشظايا fragments الناتجة عن تفاعلات الأيونات الثقيلة [3]. وتعد طاقة التناظر النووي موضوعاً هاماً في الفيزياء الكونية، فهي المقدار المفتاح في اعتبارات استقرار مادة النجم النيوتروني [4]. ترتبط نسبة البروتونات في النجم النيوتروني بطاقة التناظر النووي، ولهذه النسبة دور شامل في التطور الحراري thermal evolution للنجوم النيوترونية [5].

إن المعرفة بتعلق طاقة التناظر بالكثافة وللأسف فقيرة، بل وحتى بقيمة طاقة التناظر عند كثافة الإشباع a_4 . أنتج التحديد المخبري empirical لغرين Green القيمة $23.5 \text{ MeV} \leq a_4 \leq 6$ [6]. وتبين أن طاقة التناظر عند الكثافة الاعتيادية للمادة النووية تأخذ قيمةً بين 27 و36 MeV في حسابات علاقة الكتلة، وبين 28 و38 MeV في النماذج اللانسيوية، وبين 35 و42 MeV في النماذج النسبوية [7]. أما الوسائط التدرجية scaling parameters المحددة تجريبياً للشظايا الناتجة عن تفاعلات التشظي فيمكن تفسيرها باستخدام قيم لطاقة التناظر أخفض بوضوح من هذه القيم [3].

يعطي تحليل التركيب النظيري isotopic composition للجسيمات الصادرة أثناء التصادمات الطاقية للنكليونات - نكليونات الأفضلية لتعلق صلب stiff لطاقة التناظر بالكثافة [8]. أما دراسات الأيونات الثقيلة فتفضل تعلقاً من الشكل ρ^γ ، حيث ρ الكثافة، $\gamma = 0.6-1.05$ [9]، و $\gamma = 0.69$ عند القيم المنخفضة للكثافة [10]. وتنتج حسابات مقارنة بركنر - هارترى - فوك Brueckner-Hartree-Fock approach اللانسيوية طاقات تناظرية تزداد بشكل خطي تقريباً مع الكثافة، وذلك عند استخدام مجموعة كبيرة من الحقول العصرية modern للنكليونات - نكليونات [11].

نتج عن دراسة أنصاف الأقطار النيوترونية باستخدام نماذج الحقل الوسطي اللانسيوي والنسبوي الموافق التغير covariant وجود ترابط خطي بين ثخانة القشرة النيوترونية t في 208Pb ووسيطين محددين لطاقة التناظر، هما قيمة طاقة التناظر عند كثافة إشباع المادة النووية a_4 وميل طاقة التناظر عند كثافة الإشباع p_0 [12]. يقدر المرجع [12] الانتثار spread النظري لنصف القطر التربيعي لتوزيع النيوترونات في 208Pb بالقيمة 0.3 fm ، ويعود ذلك إلى فقر المعرفة بتعلق طاقة التناظر بالكثافة [13]. يلخص المرجع [14] بعض النتائج التجريبية الحديثة لثخانة القشرة النيوترونية في 208Pb ، حيث تنتشر قيمة t بين 0.08 fm و 0.51 fm . ويتوقع أن تؤدي تجربة تبعثر الإلكترونات المخالف للتناظر الندي parity-violating في مخبر جيفرسون Jefferson إلى معلومات أكثر دقة عن القطر النيوتروني للنواة 208Pb ، حيث تعد التجربة بدقة مقدارها 1% [15].

يجري في هذا العمل حساب طاقة التناظر النووي في نماذج هادرونية نسبوية، والبحث عن علاقة الترابط بين ثخانة القشرة النيوترونية في 208Pb من جهة، وبين قيمة a_4 وميل p_0 طاقة التناظر عند كثافة الإشباع من جهة أخرى. تراجع الفقرة الثانية مجموعات وسائط الاقتران الثلاثة المستخدمة في هذا العمل. تهتم الفقرة الثالثة بتعريف طاقة التناظر في المادة النووية ووسيطيها a_4 و p_0 . تناقش الفقرة الرابعة النتائج التي يتم الحصول عليها بالنسبة لقيمة طاقة التناظر عند كثافة الإشباع وتعلق طاقة التناظر بالكثافة، وتبحث في الترابط بين ثخانة القشرة النيوترونية في النواة 208Pb و a_4 و p_0 . وتلخص الفقرة الأخيرة النتائج الأساسية.

٢. النماذج الهادرونية النسبوية

يستخدم تابع كثافة لاغرانج نموذجي يصف التبادل العياري للميزون الواحد OBE، ويتضمن الحقل الكهرطيسي بين البروتونات وتبادل أربع ميزونات: الميزون السلمي الأيزو σ ، الميزون المتجه سلمي الأيزو ω ، الميزون السلمي متجه الأيزو δ ، والميزون المتجه سلمي الأيزو ρ :

$$\begin{aligned}
L = & \bar{\psi} \left[i\gamma^\mu \partial_\mu - m_N - g_\sigma \sigma - g_\omega \gamma^\mu \omega_\mu - g_\delta \bar{\tau} \cdot \delta \right. \\
& \left. - g_\rho \bar{\tau} \cdot \gamma^\mu \bar{\rho}_\mu - \frac{e}{2} (1 + \tau_3) \gamma^\mu A_\mu \right] \psi \\
& - U(\sigma) + \frac{1}{2} \partial^\mu \sigma \partial_\mu \sigma \\
& + \frac{1}{2} m_\omega^2 \omega^\mu \omega_\mu - \frac{1}{4} \Omega^{\mu\nu} \Omega_{\mu\nu} \\
& - \frac{1}{2} m_\delta^2 \delta^2 + \frac{1}{2} \partial^\mu \bar{\delta} \cdot \partial_\mu \bar{\delta} \\
& + \frac{1}{2} m_\rho^2 \bar{\rho}^\mu \cdot \bar{\rho}_\mu - \frac{1}{4} \bar{R}^{\mu\nu} \cdot \bar{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{4} F^{\mu\nu} F_{\mu\nu} , \quad (1)
\end{aligned}$$

حيث:

$$U(\sigma) = \frac{1}{2} m_\sigma^2 \sigma^2 + \frac{1}{3} g_2 \sigma^3 + \frac{1}{4} g_3 \sigma^4 , \quad (2)$$

و:

$$\Omega^{\mu\nu} = \partial^\mu \omega^\nu - \partial^\nu \omega^\mu , \quad (3)$$

$$\bar{R}^{\mu\nu} = \partial^\mu \bar{\rho}^\nu - \partial^\nu \bar{\rho}^\mu , \quad (4)$$

$$F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu . \quad (5)$$

تمثل الباريونات baryons، بروتونات ونيوترونات، سبينورات ديراك Dirac spinors (ψ_p^T, ψ_n^T) $\sigma \cdot \psi^T = (\psi_p^T, \psi_n^T)$ ω_μ ، δ_j ، و ρ_{jj} حقول الميزونات المختلفة ($j = 1, 2, 3$ ، $\mu = 0, 1, 2, 3$ ، $T = \text{transponder}$) e شحنة البروتون و A_μ الحقل الكهرومغناطيسي. m_N كتلة النكليون. m_i و g_i ($i = \sigma, \omega, \delta, \rho$) كتلة ووسيط اقتران الميزون i . γ_μ مصفوفة ديراك γ . و τ_j شعاع الأيزوسبين، حيث τ_3 مركبته الثالثة، وتكافئ $+1$ بالنسبة للبروتونات و -1 بالنسبة للنيوترونات. و g_2 و g_3 وسيطا حدي التأثير الذاتي اللاخطي nonlinear self-interaction للحقل σ . أولى مجموعات وسائط الاقتران المستخدمة في هذا العمل هي المجموعة NL3 للمرجع [16]، والتي يضمها الجدول 1. تضم المجموعة NL3 حدود تأثير ذاتي لاخطي للحقل σ ولا تضم الميزون السلمي متجه الأيزو δ . يتم الحصول على المجموعة NL3 بمطابقة أنصاف أقطار شحنة، طاقات ارتباط، وأنصاف أقطار النيوترون المتوفرة لعشر نوى كروية هي: $16O$ ، $40Ca$ ، $48Ca$ ، $58Ni$ ، $90Zr$ ، $116Sn$ ، $124Sn$ ، $132Sn$ ، $208Pb$ ، و $214Pb$.

الجدول ١: وسائط المجموعة NL3. m_i و g_i هما كتلة وثابت ارتباط الميزون i ، g_2 و g_3 وسيطا حدي التأثير الذاتي للاختي للحقل σ . و $m_N = 939$ MeV كتلة النيكلون.

meson i	m_i (MeV)	g_i	g_2 (fm ⁻¹)	g_3
σ	508.194	10.217	-10.431	-28.885
ω	782.501	12.868		
ρ	763	4.474		

ثاني مجموعات وسائط الاقتران المستخدمة في هذا العمل هي المجموعة DD-ME2 للمرجع [17]. لا تضم هذه المجموعة حدود تأثير لاخطي للحقل σ ، أي: $g_2 = g_3 = 0$ في العلاقة (2)، ولا تضم أيضاً الميزون السلمي متجه الأيزو δ . ولكن تتعلق وسائط اقتران الميزونات الثلاثة σ ، ω ، و ρ بالكثافة. تعرف وسائط اقتران متعلقة بالكثافة للميزونين سلمبي الأيزو بالعلاقة:

$$g_i(\rho) = g_i(\rho_0) f_i(x) \quad i = \sigma, \omega, \quad (6)$$

حيث ρ_0 كثافة إشباع المادة النووية و:

$$x = \frac{\rho}{\rho_0} \quad , \quad (7)$$

$$f_i(x) = a_i \frac{1 + b_i(x + d_i)^2}{1 + c_i(x + d_i)^2} \quad . \quad (8)$$

يأخذ تعلق ارتباط الميزون ρ بالكثافة الشكل الوظيفي التالي:

$$g_\rho(\rho) = g_\rho(\rho_0) e^{-a_\rho(x-1)} \quad . \quad (9)$$

$g_i(\rho_0)$ ، a_i ، b_i ، c_i ، و d_i هي معاملات التابع المتعلق بالكثافة $g_i(\rho)$ ($i = \sigma, \omega$)، و $g_\rho(\rho_0)$ و a_ρ معاملان التابع المتعلق بالكثافة $g_\rho(\rho)$. يضم الجدول ٢ معاملات المجموعة DD-ME2، والتي يتم الحصول عليها بمطابقة خصائص المادة النووية المتناظرة واللامتناظرة، وأنصاف أقطار شحنة، طاقات ارتباط، والقيم المتوفرة لثخانة القشرة النترونية لـ ١٢ نواة كروية هي النوى العشر المستخدمة في المجموعة السابقة NL3، 204Pb، و 210Po.

الجدول ٢: معاملات المجموعة DD-ME2. $m_N = 939$ MeV و $\rho_0 = 0.152$ fm⁻³.

meson i	m_i (MeV)	$g_i(\rho_0)$	a_i	b_i	c_i	d_i
σ	550.1238	10.5396	1.3881	1.0943	1.7057	0.4421
ω	783	13.0189	1.3892	0.9240	1.4620	0.4775
ρ	763	3.6836	0.5647			

أما مجموعة وسائط الاقتران الأخيرة المستخدمة في هذا العمل فهي المجموعة D(A) للمرجع [18]. لا تضم هذه المجموعة حدود تأثير ذاتي لاخطي للحقل σ ، ولكنها تضم الميزون السلمي متجه الأيزو δ ، وتتعلق وسائط اقتران الميزونات الأربعة بالكثافة. تعرف وسائط اقتران متعلقة بالكثافة للميزونين سلمبي الأيزو بالعلاقة:

$$\frac{g_i(\rho)}{g_i(\rho_0)} - 1 = a_i \left(\exp \left[b_i \left(1 - \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{1/3} \right) \right] - 1 \right) \quad i = \sigma, \omega, \quad (10)$$

حيث ρ_0 كثافة إشباع المادة النووية و a_i ، b_i ، و $g_i(\rho_0)$ معاملات التابع المتعلق بالكثافة $g_i(\rho)$. وتعرف وسائط اقتران متعلقة بالكثافة للميزونين سلمبي الأيزو بالعلاقة:

$$g_i(\rho) = g_i(\rho_0) \exp \left[b_i \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0} \right) \right] \quad i = \delta, \rho, \quad (11)$$

حيث b_i و $g_i(\rho_0)$ معاملات التابع المتعلق بالكثافة $g_i(\rho)$. تعابير المعاملات a_i ، b_i ، و $g_i(\rho_0)$ ($i = \sigma, \omega$) و b_i و $g_i(\rho_0)$ ($i = \delta, \rho$) باستخدام نتائج حسابات بركنر - هار تري - فوك النسبوية لطاقة النكليون الذاتية في المادة النووية. يضم الجدول ٣ معاملات التوسيط $D(A)$ الناتج عن استخدام الكمون Bonn A.

الجدول ٣: معاملات المجموعة $D(A)$. $m_N = 938.926$ MeV و $\rho_0 = 0.185$ fm⁻³

meson i	m_i (MeV)	$g_i(\rho_0)$	a_i	b_i
σ	550	9.297	0.2941	2.217
ω	782.6	11.269	0.3451	2.113
δ	983	4.701		1.223
ρ	769	2.370		1.634

تعد المجموعات الثلاث السابقة، NL3، DD-ME2، و $D(A)$ ممثلة لتنوع هائل من مجموعات الوسائط المستخدمة في النماذج الهادرونية النسبوية، والتي يتبع أغلبها إحدى الطرق المعروفة من خلال هذه المجموعات الثلاث، والمطبقة بنجاح في حساب المادة النووية وخواص النوى.

٣. طاقة التناظر النووي

تعطي معادلة الحالة Equation of State النووية طاقة النكليون e كتابع للكثافة ρ ومعامل اللاتناظرية β :

$$e = e(\rho, \beta) \quad (12)$$

حيث الكثافة هي مجموع كثافتي النيوترونات والبروتونات، ρ_n و ρ_p :

$$\rho = \rho_n + \rho_p \quad (13)$$

ويعرف معامل اللاتناظرية β بالعلاقة:

$$\beta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho} \quad (14)$$

تعد طاقة التناظر النووي $e_{sym}(\rho)$ المقدار المميز لتعلق معادلة الحالة النووية بالأيزوسبين، ويتم الحصول عليها بتطوير معادلة الحالة بالنسبة لمعامل اللاتناظرية:

$$e(\rho, \beta) = e(\rho, 0) + e_{sym}(\rho)\beta^2 + O(\beta^4) \quad (15)$$

أي أن طاقة التناظر النووي تعطى بالعلاقة:

$$e_{sym}(\rho) = \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 e(\rho, \beta)}{\partial \beta^2} \right|_{\beta=0} \quad (16)$$

يرمز لقيمة طاقة التناظر عند كثافة إشباع المادة النووية ρ_0 بـ:

$$a_4 = e_{sym}(\rho_0) \quad (17)$$

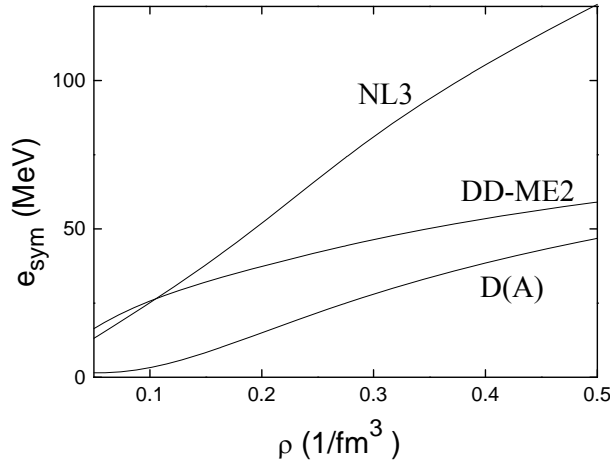
أما الوسيط الذي يصف ميل طاقة التناظر عند كثافة الإشباع فهو:

$$p_0 = \rho_0^2 \left. \frac{de_{sym}(\rho)}{d\rho} \right|_{\rho=\rho_0} \quad (18)$$

٤. النتائج والمناقشة

يعرض الشكل ١ طاقة التناظر كتابع للكثافة بالنسبة لمجموعات وسائط الاقتران الثلاث المراجعة في الفقرة الثانية. تعلق طاقة التناظر بالكثافة خطي حول كثافة الإشباع في كل الحالات. أي أن استخدام ρ^{γ} لوصف الشكل الوظيفي للتعلق بالكثافة يؤدي إلى القيمة $\gamma = 1$ حول كثافة الإشباع بالنسبة لكافة المجموعات. تتغير قيمة γ عند استخدام المجموعة NL3 من ١ عند القيم المنخفضة للكثافة وحول قيمة كثافة الإشباع إلى 0.84 عند القيم المرتفعة للكثافة ($0.3-0.5 \text{ fm}^{-3}$). تتغير قيمة γ عند استخدام المجموعة DD-ME2 من 0.64 عند القيم المنخفضة للكثافة إلى ١ حول قيمة كثافة الإشباع و 0.47 عند القيم المرتفعة للكثافة. وتتغير قيمة γ عند استخدام المجموعة D(A) من 1.37 عند القيم المنخفضة للكثافة إلى ١ حول قيمة كثافة الإشباع و 0.98 عند القيم المرتفعة للكثافة. ينمو الفرق في نتائج طاقة التناظر بين NL3 و DD-ME2 مع الكثافة، ويعود ذلك إلى أن مساهمة تبادل الميزون ρ في طاقة التناظر تتناسب مع g_{ρ}^2 ، وتتناقص قيمة g_{ρ}^2 بشكل أسي مع ازدياد الكثافة بالنسبة للمجموعة DD-ME2، انظر العلاقة (9)، بينما g_{ρ}^2 ثابت في NL3. مساهمة تبادل الميزون δ في طاقة التناظر سالبة وتتناسب مع $-g_{\delta}^2$ ، ولذلك يؤدي ضم الميزون δ في المجموعة D(A) إلى قيم أكثر انخفاضاً لطاقة التناظر بالمقارنة مع DD-ME2 عند كافة قيم الكثافة.

يضم الجدول ٤ نتائج وسيطي طاقة التناظر a_4 و p_0 للمجموعات الثلاث. كما يضم أيضاً القيم التي تم الحصول عليها لثخانة القشرة النترونية t في النواة ^{208}Pb . تؤكد النتائج التي يعرضها الجدول ٤ وجود ترابط بين ثخانة القشرة النترونية في ^{208}Pb وقيمة طاقة التناظر النووي عند كثافة الإشباع a_4 ، ولكن ليس مع وسيط ميل طاقة التناظر عند كثافة الإشباع p_0 . قيمة p_0 التي يتم الحصول عليها بالنسبة للمجموعة D(A)، والتي تعطي القيمة الأخفض لكل من a_4 و t ، ليست بالأخفض. يعود ذلك من جهة إلى القيمة المرتفعة لكثافة الإشباع ρ_0 في الحالة D(A)، والتي تدخل في تعريف وسيط الميل p_0 ، انظر العلاقة (18)، ومن جهة أخرى إلى انخفاض مطلق القيمة السالبة لمساهمة الميزون δ في طاقة التناظر مع ازدياد الكثافة، وذلك لتتناسب هذه المساهمة مع $-g_{\delta}^2$ وانخفاض g_{δ} مع ازدياد الكثافة، انظر العلاقة (11)، مما يؤدي إلى ازدياد في قيمة الوسيط p_0 .



الشكل ١: طاقة التناظر كتابع للكثافة.

الجدول ٤: كثافة إشباع المادة النووية ρ_0 ، وسيط طاقة التناظر a_4 و p_0 ، وثخانة القشرة النترونية t في النواة ^{208}Pb .

	NL3	DD-ME2	D(A)
ρ_0 ($1/\text{fm}^3$)	0.148	0.152	0.185
a_4 (MeV)	37.4	32.3	12.9
p_0 (MeV/fm^3)	5.84	2.61	4.64
t (fm)	0.279	0.19	0.129

٥. الخلاصة

تحدد طاقة التناظر النووي باستخدام ثلاث نماذج هادرونية نسبوية: NL3، DD-ME2، وD(A). تعلق طاقة التناظر بالكثافة خطي حول كثافة الإشباع. ويوجد ترابط بين ثخانة القشرة النترونية في النواة ^{208}Pb وقيمة طاقة التناظر النووي عند كثافة الإشباع، ولكن ليس مع ميل طاقة التناظر عند كثافة الإشباع. يفسر تعلق وسائط الاقتران بالكثافة وضم الميزون δ هذه النتائج.

شكر

تم هذا البحث في ظل رعاية هيئة الطاقة الذرية السورية.

- [1] S. Haddad: *Europhys. Lett.* 48, 505 (1999).
- [2] K. Sumiyoshi, D. Hirata, H. Toki, and H. Sagawa: *Nucl. Phys.* A552, 437 (1993).
- [3] J. Iglio, D. V. Shetty, S. J. Yennello, G. A. Souliotis, M. Jandel, A. L. Keksis, S. N. Soisson, B. C. Stein, S. Wuenschel, and A. S. Botvina: *Phys. Rev.* C74, 024605 (2006).
- [4] S. Kubis: *Phys. Rev.* C76, 025801 (2007).
- [5] E. N. E. van Dalen, A. E. L. Dieperink, A. Sedrakian, and R. G. E. Timmermans: *Astron. Astrophys.* 360, 549 (2000).
- [6] A. E. S. Green: *Rev. Mod. Phys.* 30, 569 (1958).
- [7] B. A. Li, C. M. Ko, and W. Bauer: *Int. J. Mod. Phys.* E7, 147 (1997).
- [8] W. P. Tan, B. A. Li, R. Donangelo, C. K. Gelbke, M. J. van Goethem, X. D. Liu, W. G. Lynch, S. Souza, M. B. Tsang, G. Verde, A. Wagner, and H. S. Xu: *Phys. Rev.* C64, 051901 (2001).
- [9] L. W. Chen, C. M. Ko, and B. A. Li: *Phys. Rev. Lett.* 94, 032701 (2005).
- [10] D. V. Shetty, S. J. Yennello, and G. A. Souliotis: *Phys. Rev.* C75, 034602 (2007).
- [11] Z. H. Li, U. Lombardo, H. J. Schulze, W. Zuo, L. W. Chen, and H. R. Ma: *Phys. Rev.* C74, 047304 (2006).
- [12] R. J. Furnstahl: *Nucl. Phys.* A706, 85 (2002).
- [13] J. Piekarewicz: *Phys. Rev.* C66, 034305 (2002).
- [14] A. E. L. Dieperink, Y. Dewulf, D. Van Neck, M. Waroquier, and V. Rodin: *Phys. Rev.* C68, 064307 (2003).
- [15] R. Michaels, P. A. Souder, and G. M. Urciuoli: Spokespersons, Jefferson Laboratory Experiment E-00-003.
- [16] G. A. Lalazissis, J. König, and P. Ring: *Phys. Rev.* C55, 540 (1997).
- [17] G. A. Lalazissis, T. Nikšić, D. Vretenar, and P. Ring: *Phys. Rev.* C71, 024312 (2005).
- [18] S. Haddad: *Acta Phys. Pol.* B38, 2121 (2007).

SYRIAN ARAB REBABLIC
ATOMIC ENERGY COMMISSION
DAMASCUS- P.O.BOX: 6091



Report on Scientific Informatic Study
Department of physics

Nuclear symmetry energy in density dependent hadronic models

Dr. S . Haddad

AECS – PH \ RSS 793

December 2008