مطالعه مقایسه‌ای مودل‌های هسته‌ای با داده‌های تجربی برای هسته‌های سنگین رادیواکتیو ($^{231}_{91}Pa$ و $^{232}_{90}Th$)

پوهندوی دکتور داود میرزایی[۹]

تقریظ دهنده: پوهنوال فریباحدیار

مجـلهی علمی-تحقیقی حـوزهی علوم طـبیعی پـوهــنتون کـابـل، ۳ (۳) ۱۳۹۹

چکیده

معمولاً از شکل‌های پیشرفته‌ی مودل توماس‌فرمی برای بررسی خصوصیات هسته‌های سنگین استفاده می‌شود. در این مقاله بعضی از خصوصیات هسته‌های رادیواکتیو $^{231}_{91}Pa$ و $^{232}_{90}Th$ در مودل قطره‌ی مایع با مودل توماس فرمی مطالعه و با داده‌های تجربی مقایسه شده است. با اضافه کردن جمله تصحیح انرژی تغییر شکل به معادله‌ی حالت هسته‌ای، پارامترهای مودل قطره‌ی مایع به‌دست آمده است که با استفاده از این پارامترها، می‌توان خواص هسته‌ای مانند ارتفاع بند انشقاق هسته را مطالعه کرد. هم‌چنین مقادیر حاصل از محاسبات با مقادیر تجربه مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که با استفاده از این روش، انشقاق هسته‌های سنگین تغییر شکل یافته را می‌توان مورد مطالعه قرار داد. هم‌چنین می‌توان با استفاده از ضرایب دقیق مودل‌های هسته‌ای، کمیت‌های ترمودینامیکی هسته‌های سنگین رادیواکتیو $^{231}_{91}Pa$ و $^{232}_{90}Th$ را محاسبه و با مقادیر تجربی مقایسه کرد.

اصطلاحات کلیدی: هسته رادیواکتیو؛ مودل توماس فرمی؛ معادله حالت هسته‌ای؛ مودل قطره مایع؛ ارتفاع بند انشقاق؛ کمیت ترمودینامیکی

Comparative Study Of Nuclear Models With Experimental Data For Heavy Radioactive Nuclei ($^{231}_{91}Pa$, $^{232}_{90}Th$

Asstt. Prof. Dr. Dawod Merzaee

Abstract

Usually, advanced forms of the Thomas Fermi model are used to study the properties of heavy cores. In this paper, some of the properties of radioactive nuclei $^{231}_{91}Pa$, $^{232}_{90}Th$ in the liquid droplet model with Thomas Fermi model are investigated and compared with experimental data. By adding the deformation energy correction sentence to the nuclear state equation, the parameters of the nuclear models are obtained, which can be used to study the nuclear properties such as the height of the fission bond. Also, the values obtained from the calculations are compared with the values of experience. This comparison shows that using this method, the cleavage of deformed heavy nuclei can be studied. Also, using the exact coefficients of nuclear models, the thermodynamic quantities of radioactive heavy nuclei ($^{231}_{91}Pa$, $^{232}_{90}Th$) Th were calculated and compared with experimental values.

Keywords**:** Deformed Core; Thomas Fermi Model; Nuclear State Equation; Liquid Drop Model; Fission Barrier Height; Thermodynamic Quantity

ارجاع

میرزایی، داود. (۱۳۹۹). مطالعه مقایسه‌ای مودل‌های هسته‌ای با داده‌های تجربی برای هسته‌های سنگین رادیواکتیو ($^{231}_{91}Pa$ و $^{232}_{90}Th$). مجله‌ی علمی- تحقیقی حوزه‌ی علوم طبیعی پوهنتون کابل، شماره ۳ (۳)، صص ۱۲۳-۱۲۸.

---

[۹] استاد پوهنځی فزیک، پوهنتون کابل

مقدمه

با اســـتفاده از مودل‌های هســـته‌ای توماس- فرمی و مدل قطره‌ی مایع می‌توان کمیت‌های حجمی‌و ســـطحی ماده هســـته‌ای را تعیین کرد و این مودل‌های را با داده‌های تجربی مقایســـه کرد تا صـــحت محاسبه مودل‌ها برای محقیقن مشخص شود و بتوانند با مودل‌های هسته‌ای راحت کار بکنند. در این مودل‌ها تعامل مؤثر نوکلئون – نوکلئون به شکل سیلر-بلنچارد (۱)، در نظر گرفته می‌شود که با جملات اضـــافی وابســـته به مومنتوم و کثافت تعمیم داده شـــده اســـت. پارامترهای موجود در تعامل از طریق انطباق با خواص کتله‌های تصحیح شده‌ی لایه‌اي تعداد زیادي هسته، پهن‌شدگی سطح هسته و عمق اندازه‌گیریي شده در پتانشیل‌های مودل اپتیکی قابل تنظیم هستند. با استفاده از این پارامترها اندازه‌ی هسته را با دقت خوبی می‌توان تخمین زد.

روش تحلیلی

در مودل توماس فرمی‌انرژي کل هســـته‌ها به صـــورت انتگرال کثافت انرژي بر روي کل فضـــا تعریف می‌شود که شامل انرژي حرکی توماس فرمی و انرژي تعاملی کولنی و هسته‌ای است (۱، ۲).

$$E_T = T + U_{eN} + U_{ee} \qquad (۱)$$

$$U_{eN} = \int n(r) V_N(r) d^3r \qquad (۲)$$

که $V_N(r)$ انرژی پتانشیل در ساحه‌ی برقی هسته است.

$$V_N(r) = -\frac{Ze^2}{r} \qquad (۳)$$

$$U_{ee} = \frac{1}{2} e^2 \int \frac{n(r) n(\acute{r})}{|r-\acute{r}|} d^3r d^3\acute{r} \qquad (۴)$$

$$T = C \int \big(n(r)\big)^{\frac{5}{3}} d^3r \,.\;\; C = \frac{3}{10}(3\pi^2)^{\frac{2}{3}} \qquad (۵)$$

در رابطه‌ی بالا (۱) $T . U_{eN} . U_{ee}$ به‌ترتیب عبارت هستند از انرژي پتانشیل، انرژي کولنی و کثافت انرژي حرکی که بر اساس کثافت نوکلئون‌ها تعریف شده‌اند. با محاسبه انتگرال فرمول (۱) و با استفاده از پتانشـیل تعاملی یوکاوا در فضـاي فاز و انکشـاف انرژي، انرژي برای هر نوکلئون در واحد مومنتوم فرمی، در اطراف انرژي اشباع به صورت زیر انکشاف داده می‌شود (۲،۵).

$$\eta = \eta_0 + w_0 + w_1\delta^2 + \tfrac{1}{2}\delta^2\varepsilon^2 - w_3\varepsilon\delta^2 + \tfrac{1}{2}w_4\delta^4 - w_5|\delta|^3 - w_6|\delta|^5 \ldots \qquad (٦)$$

$$\rho = \rho_n + \rho_P \qquad (۷)$$

$$\delta = (\frac{\rho_n - \rho_P}{\rho}) \quad (۸)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{3}(1 - \frac{\rho}{\rho_0}) \quad (۹)$$

که ρ کثافت ماده هسته‌ای، δ فزونی نوترون، و ضرایب W_i نیز بر حسب پنج پارامتر مودل توماس فرمی‌تعریف می‌شوند (۲).

از معادله‌ی حالت هسته به خصوصیات هسته‌ها می‌توان پی برد. برخی از این خصوصیات در جدول (۱) ارائه شده‌اند. هم‌چنین با در نظر گرفتن تغییر شکل و اثر آن بر انرژي کولنی و سطحی و در نظر گرفتن حفظ حجم، انرژي بدون تغییرشکل به صورت زیر می‌تواند نوشته شو (۳، ٦).

$$E(\text{def}) = \frac{1}{2\pi}\sum_{\lambda\mu}(\frac{(\lambda-1)(\lambda+2)}{4} - \chi\frac{5(\lambda-1)}{(2\lambda+1)})|\alpha_{\lambda\mu}|^2 . \chi = \frac{\frac{Z^2}{A}}{50} \quad (۱۰)$$

در معادله بالا، χ پارامتر انشقاق‌پذیري هسته می‌باشد. در معادله‌ی هسته‌ای (۱۰) تعداد زیادی از هسته‌ها در تحقیقات مختلف توسط دانشمندان مورد استفاده قرار گرفته است که بسیاری از این هسته‌ها با فرض اینکه کروی بودند در معادله مورد نظر انتگرال را حل کردند. از آن‌جایی که بیشتر هسته‌ها (به جز هسته‌های جادویی) در حالت پایه‌ی خود داراي تغییر شکل هستند، به این ترتیب با اضافه کردن انرژي تغییر شکل هسته‌ها، که در تغییر در انرژي کولنی و انرژی سطحی ایجاد می‌گردد، به عنوان یک جملهٔ تصحیحی به معادله‌ی انرژي برای هر نوکلئون در نظر گرفته می شود که در نهایت شکل تصحیح شده‌ی معادله‌ی انرژی به دست خواهد آمد. با تطابق (fitting) کردن معادله تصحیح شده‌ی انرژي براي هسته‌های رادیواکتیو (A>230)، شامل تغییر شکل‌هاي چهار قطبی و هشت قطبی و ضرایب موجود در این معادله را که شامل پارامترهاي توماس فرمی هستند، شامل می‌شود و از تغییر شکل‌ها و ضرایب معادله تصحیح شده‌ی انرژی جهت تعیین ضرایب مودل قطره‌ی مایع مانند: ضرایب حجمی a_v ، سطحی a_s، انرژی عدم تناظری J و تراکم‌پذیری ماده هسته‌ای K استفاده می شود. با استفاده از نتایج به‌دست آمده براي هسته‌های رادیواکتیو به عنوان نمونه‌ی انرژی بسته‌گی هسته‌ها و بند انشقاق هسته‌های $^{231}_{91}Pa$. $^{232}_{90}Th$ را مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل برای مودل‌های هسته‌ای و داده های تجربی جهت وضاحت بیشتر مقایسه شد (۴، ۱۱).

نتایج

در این مطالعه پارامترهاي مهم مودل‌های هسته‌ای مانند ضرایب حجمی a_v، سطحی a_s ، انرژي عدم تناظری J و تراکم‌پذیري ماده هسته‌ای K را در نظر گرفته شد و با مقادیر تجربی محاسبه شده، مقایسه

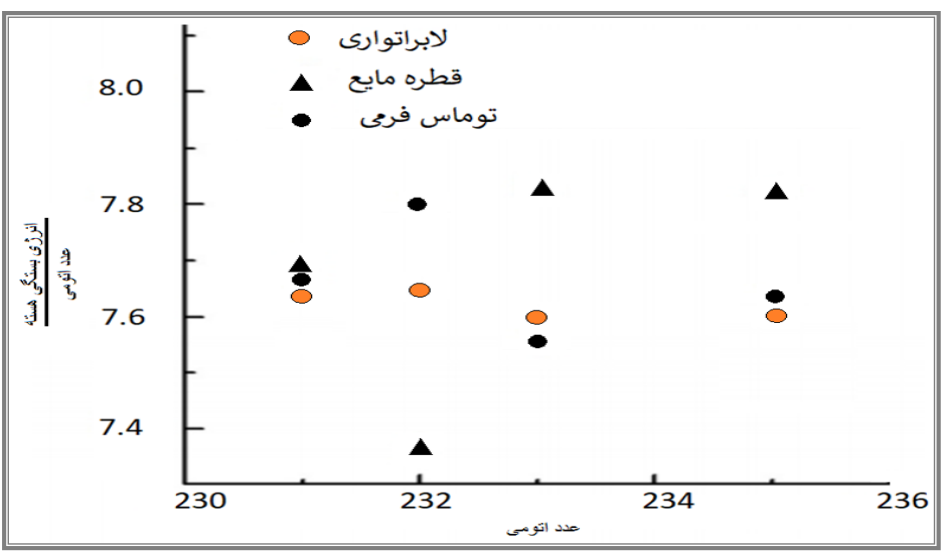
گردید که نتایج مقایسه داده‌ها در جدول شماره (۱) آورده شده است. با استفاده از ضرایب جدید، انرژي بستگی سه هسته‌ی رادیواکتیو سنگین گروه آکتنیدها (Actinide) را محاسبه و در جدول شماره (۲) با مقادیر لابراتواری و نتایج حاصل از تئوري‌های دیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۱: ضرایب مودل قطره مایعی هسته با استفاده از معادله حالت هسته‌ای توماس فرمی

ضرایب	هسته رادیواکتیو (MeV)	هسته کروی شکل (MeV)
a_v	۱۶,۶۵	۱۵,۸
a_s	۲۰,۰۹	۱۹,۰۸
J	۳۳,۲۲	۲۳,۲۳
K	۲۵۷,۱۵	۲۴۱,۰۴

جدول ۲: مقایسه انرژی بستگی متوسط هسته‌های سنگین $^{232}_{90}Th$, $^{231}_{91}Pa$ با استفاده از مودل توماس فرمی، قطره مایع و اندازه گیری لابراتواری

هسته‌ها	توماس فرمی(MeV)	قطره مایع	نتایج لابراتواری
$^{231}_{91}$Pa	۷,۶۶۸	۷,۶۹۲	۷,۶۱۸
$^{232}_{90}$Th	۷,۷۹۸	۷,۳۶۲	۷,۶۵۸
$^{235}_{92}$U	۷,۶۶۱	۷,۸۱۸	۷,۵۹۱



شکل ۱: مقادیر انرژی بستگی هسته‌های سنگین $^{232}_{90}Th$. $^{231}_{91}Pa$ و دیگر هسته‌های سنگین بر حسب عدد اتومی

بحث و نتیجه‌گیری

در این بررسی با استفاده از مودل‌های هسته‌ای و داده‌های تجربی محققان، خصوصیات هسته‌های رادیواکتیو سه هسته‌ی سنگین پرداخته شد و با اضافه کردن انرژی تغییر شکل هسته‌ها، که تغییرات در انرژي کولنی و سطحی ایجاد در نظر گرفته شد و به عنوان یک جمله‌ی تصحیحی به معادله‌ی انرژی برای هر نوکلئون، شکل تصحیح شده معادله‌ی انرژی به‌دست آمد. نتایج حاصل با توجه به گراف و جدول‌ها نشان می‌دهد که تغییر شکل باعث افزایش ضرایب انرژي حجمی، سطحی و تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای می‌گردد. بنابراین، تغییر شکل احتمال انشقاق شدن را در هسته‌ها افزایش می‌دهد. هم‌چنین، احتمال انشقاق شدن نامتناظر هسته‌ها یعنی انشقاقی که در آن هسته به دو قسمت جدا می‌شود، در این صورت، هر قسمت مجزای هسته که دارای کتله‌های متفاوت باشد، بیشتر از احتمال انشقاق متناظر یعنی حالتی که در آن دو پاره یک‌سان باشند، است.

منابع

(1) W. D. Myers and W. J. Swiatecki, Thomas Fermi model of nuclei, Ann Phys. 1990. 204, pp. 401- 431,

(2) W. D. Myers and W. J. Swiatecki, Thomas Fermi model of nuclei, Ann Phys. 1991. 211, pp. 292- 315,

(3) W. D. Myers and W. J. Swiatecki, the Nuclear Thomas-Fermi Model, LBL-36004 UC-413, August. 1994.

(4) X. Viñas, Thomas–Fermi theory for atomic nuclei revisited, February, Annals of Physics. 2007. 322(2): pp. 363-396

(5) P. Preetha & S. Santhosh Kumar, Nuclear Level Density and the Structural Dynamics of Rotating Superheavy Nucleus Z = 117, Brazilian Journal of Physics volume 50, 2020. Pp. 346–362.

(6) B. K. Sharma, M. Centelles , X. Viñas, Unified equation of state for neutron stars on a microscopic basis, Astronomy & Astrophysics manuscript no. crustBCPM_v12 c ESO 2018 July 18, 2018.

(7) D. N. Poenarau, R. A.Gherghescu, W. Greiner, Fissility of nuclear, Rom Rep in Phys. 2011. Pp.1133-1146.

(8) Preter Moller, Heavy-element fission barriers, Phys. Rev. 2009. C 79, 064304.

(9) l. G. Moretto, P. T. Lake, and L. Phair, Reexamination and extension of the liquid drop model, Phys. Rev. 2012. P. 86, 021303.

(10) K. Zbiri G. Royer, K. Zbiri, Asymmetric fission for 76 Se and 98Mo, Nucl. phys. 2002. Pp. 697- 630.

(11) M. Wang, G. Audi, A. H. Wapstra, F. G. Kondev, M. MacComick, X. Xu and B.pfeiffer, Chinese physics. 2012. p 36, 1603.