

نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال دوم، شماره 4، زمستان 1394

بررسی خصوصیات هسته‌های تغییر شکل یافته سنگین با استفاده از مدل توماس فرمی

محمد رضا پهلوانی^{1*}، حامد بابازاده²

¹دانشیار، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته‌ای
²کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته‌ای

(تاریخ دریافت مقاله: 1394/06/16 - تاریخ پذیرش مقاله: 1394/09/10)

چکیده:

مدل توماس-فرمی یکی از مدل‌های قدیمی و قابل انعطاف است که شکل‌های پیشرفته آن برای بررسی خصوصیات هسته‌ها از جمله هسته‌های سنگین می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاییکه در این مدل از چگالی برای نشان دادن تغییرات هسته‌ها استفاده می‌شود بنابراین هیچ محدودیتی برای وارد کردن تغییر شکل در آن وجود ندارد. در این تحقیق برخی از خصوصیات هسته‌های تغییر شکل یافته در مدل قطره مایعی با استفاده از مدل توماس فرمی ارائه شده است. با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های چهار قطبی و هشت قطبی هسته و اضافه کردن جمله تصحیح انرژی تغییر شکل به معادله حالت هسته‌ای، پارامترهای مدل قطره مایع، شامل ضرایب حجمی، سطحی، انرژی تقارنی و تراکم پذیری بدست آمده است. با استفاده از این پارامترها ارتفاع سد شکافت برای تعدادی از هسته‌های تغییر شکل یافته در دماهای مختلف تعیین شده است. همچنین مقادیر حاصل از محاسبات با مقادیر تجربه مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که با استفاده از این روش شکافت هسته‌های سنگین تغییر شکل یافته را می‌توان مورد مطالعه قرار داد. همچنین با استفاده از ضرایب دقیق مدل قطره مایعی کمیت‌های ترمودینامیکی هسته‌های سنگین تغییر شکل یافته را محاسبه و با مقادیر تجربی مقایسه کرد. چنین مطالعاتی باعث بینش دقیق‌تر ما از هسته‌ها خواهد گردید.

کلید واژه: هسته تغییر شکل یافته، مدل توماس-فرمی، معادله حالت هسته‌ای، سد شکافت هسته‌ای، مدل قطره مایع

*استان مازندران، بابلسر، پردیس دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه گروه فیزیک هسته‌ای، کدپستی: 47415-416

پست الکترونیک: m.pahlavani@umz.ac.ir

مقدمه:

$$h = h_0 + (w_0 e + w_1 d^2) + 1/2(d^2 e^2 - 2w_3 e d^2 + w_4 d^4)$$

$$- w_5 |d|^3 - w_6 |d|^5 + \dots \quad (2)$$

که ρ چگالی ماده هسته ای، δ فزونی نوترون، و ضرایب w_i نیز برحسب پنج پارامتر مدل توماس-فرمی تعریف می‌شوند [2].

$$r = r_n + r_p \quad (3)$$

$$d = \left(\frac{r_n - r_p}{r} \right) \quad (4)$$

$$e = \frac{1}{3} \frac{\rho}{\rho_0} - \frac{r}{r_0} \frac{\ddot{\rho}}{\rho} \quad (5)$$

از معادله حالت هسته به خصوصیات هسته‌ها می‌توان پی برد. برخی از این خصوصیات در جدول (1) ارائه شده‌اند. همچنین با در نظر گرفتن تغییر شکل و اثر آن بر انرژی کولنی و سطحی و در نظر گرفتن بقای حجم، انرژی بدون بعد تغییرشکل به صورت زیر می‌تواند نوشته شود [3].

$$E(\text{def}) = \frac{1}{2\rho} \frac{\dot{\rho}}{\rho} \frac{(l-1)(l+2)}{4} - X \frac{5(l-1)\dot{\rho}}{(2l+1)\dot{\rho}} \frac{\dot{a}_{lm}^2}{\dot{\rho}} \quad (6)$$

در معادله (6)، $c = \frac{(z^2/A)}{50}$ ، پارامتر شکافت پذیری هسته می‌باشد. در معادله هسته‌ای (2) شمار زیادی از هسته‌ها (بالغ بر 2000) هسته مورد استفاده قرار گرفته است که بسیاری از این هسته‌ها به صورت کروی بوده‌اند. علاوه بر این، حل انتگرال با فرض کروی بودن هسته‌ها انجام گرفته شده است. از آنجایی که بیشتر هسته‌ها (به جز هسته‌های جادویی) در حالت پایه خود دارای تغییر شکل‌اند، به این ترتیب با اضافه کردن انرژی تغییر شکل هسته‌ها، که در اثر تغییر در انرژی کولنی و سطحی ایجاد می‌گردد، به عنوان یک جمله تصحیحی به معادله انرژی به ازای هر نوکلئون، فرم تصحیح شده معادله انرژی را بدست آورده‌ایم. با

مدل توماس-فرمی در نوامبر سال 1926 توسط اچ.توماس در فیزیک اتمی و یک سال پس از آن به طور مستقل توسط فرمی در فیزیک هسته‌ای معرفی شد. با استفاده از این مدل کمیت‌های حجمی و سطحی ماده هسته‌ای را تعیین کرده و زمینه لازم را برای ارزیابی دقیق تر مدل قطره مایعی می‌توان فراهم نمود. در این مدل برهمکنش مؤثر نوکلئون - نوکلئون به شکل سیلر-بلنچارد [1]، در نظر گرفته می‌شود که با جملات اضافی وابسته به تکانه و چگالی تعمیم داده شده است. پارامترهای موجود در برهمکنش از طریق انطباق با خواص جرم‌های تصحیح شده لایه‌ای تعداد زیادی هسته، پخشیدگی سطح هسته و عمق اندازه گیری شده در پتانسیل‌های مدل اپتیکی قابل تنظیم هستند. با استفاده از این پارامترها اندازه هسته را با دقت خوبی می‌توان تخمین زد.

روش محاسبات:

درمدل توماس-فرمی انرژی کل هسته‌ها به صورت انتگرال چگالی انرژی بر روی کل فضا تعریف می‌شود که شامل انرژی جنبشی توماس-فرمی و انرژی برهمکنشی کولنی و هسته‌ای است [1].

$$E_T = \int \dot{\rho} (e_k + e_c + e_{int}) d^3 r \quad (1)$$

در رابطه (1) e_k ، e_c و e_{int} بترتیب عبارت‌اند از چگالی انرژی جنبشی، انرژی کولنی و انرژی برهمکنش هسته‌ای که بر اساس چگالی نوکلئون‌ها تعریف شده‌اند. با محاسبه انتگرال (1) و با استفاده از پتانسیل برهمکنشی یوکاوا در فضای فاز و بسط انرژی، انرژی به ازای هر نوکلئون در واحد تکانه فرمی، در اطراف انرژی اشباع به صورت زیر بسط داده می‌شود [2].

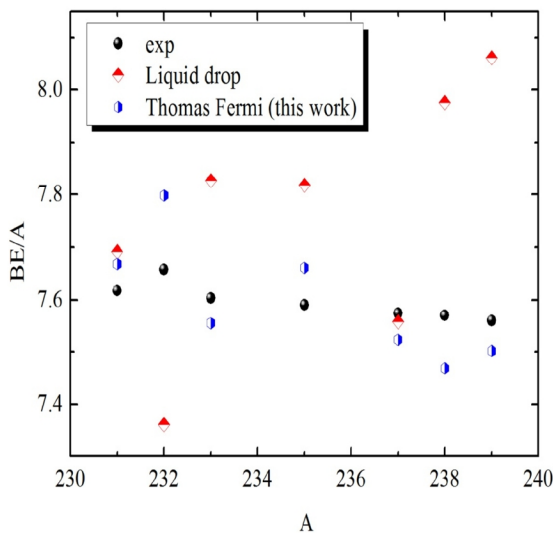
جدول 2. مقایسه انرژی بستگی متوسط هسته ها (BE/A) با استفاده از مدل توماس- فرمی، قطره مایع و اندازه گیری آزمایشگاهی

Nuclei	T-F (Mev)	L-D (Mev)	Exp (Mev)
$^{231}_{91}Pa$	7/668	7/692	7/618
$^{232}_{90}Th$	7/798	7/362	7/658
$^{235}_{92}U$	7/661	7/818	7/591
$^{237}_{93}Np$	7/523	7/558	7/574
$^{238}_{92}U$	7/469	7/976	7/570
$^{239}_{94}Pu$	7/502	8/062	7/560

برآزش معادله تصحیح شده انرژی برای هسته های تغییر شکل یافته ($A > 230$)، شامل تغییر شکل های چهار قطبی و هشت قطبی، ضرایب موجود در این معادله را که شامل پارامترهای توماس- فرمی اند محاسبه واز آنها جهت تعیین ضرایب مدل قطره مایع نظیر ضرایب حجمی a_v ، سطحی a_s ، انرژی عدم تقارنی J و تراکم پذیری ماده هسته ای K استفاده نموده ایم. با استفاده از نتایج بدست آمده برای هسته های تغییر شکل یافته، انرژی بستگی هسته ها و سد شکافت هسته های $^{231}_{91}Pa$ ، $^{232}_{90}Th$ را محاسبه و نتایج حاصل را با سد شکافت هسته های کروی مقایسه نموده ایم. [4-6]

نتایج:

در این پژوهش پارامترهای مدل قطره مایع نظیر ضرایب حجمی a_v ، سطحی a_s ، انرژی عدم تقارنی J و تراکم پذیری ماده هسته ای K را محاسبه نموده و با مقادیر مدل قطره مایع در حالت کروی در جدول شماره (1) مقایسه نموده ایم. با استفاده از ضرایب جدید، انرژی بستگی هسته های تغییر شکل یافته سنگین گروه آکتیندها را محاسبه و در جدول شماره (2) با مقادیر آزمایشگاهی و نتایج حاصل از تئوری های دیگر مقایسه نموده ایم.



شکل 1. مقادیر انرژی بستگی هسته ها بر حسب عدد اتمی آنها

جدول 1. ضرایب مدل قطره مایعی هسته با استفاده از معادله حالت

ضرایب	هسته کروی (Mev)	هسته تغییر یافته (Mev)
a_v	15/8	16/65
a_s	19/08	20/09
J	23/23	33/22
K	241/04	257/15

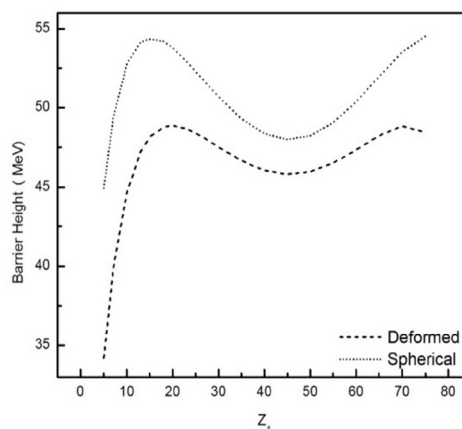
اضافه کردن انرژی تغییر شکل هسته‌ها، که در اثر تغییر در انرژی کولنی و سطحی ایجاد می‌گردد، به عنوان یک جمله تصحیحی به معادله انرژی به ازای هر نوکلئون، فرم تصحیح شده معادله انرژی را بدست آورده‌ایم. با برازش معادله تصحیح شده انرژی برای هسته‌های تغییر شکل یافته، برخی از این خصوصیات را محاسبه کرده ایم.

نتایج حاصل نشان می‌دهند که تغییر شکل باعث افزایش ضرایب انرژی حجمی، سطحی و تراکم ناپذیری ماده هسته‌ای می‌گردد.

همچنانکه از شکل‌های (2) و (3) پیداست، اثر تغییر شکل بر روی هسته‌های سنگین باعث کاهش سد شکافت شده است. زیرا هسته برای شکافته شدن ابتدا از حالت کروی، تغییر شکل یافته و بعد به دو هسته شکافته می‌شود. اما اگر از ابتدا تغییر شکل یافته باشد دیگر نیازی نیست مرحله اول یعنی تغییر شکل را طی کند در نتیجه تغییر شکل احتمال شکافته شدن را در هسته‌ها افزایش می‌دهد.

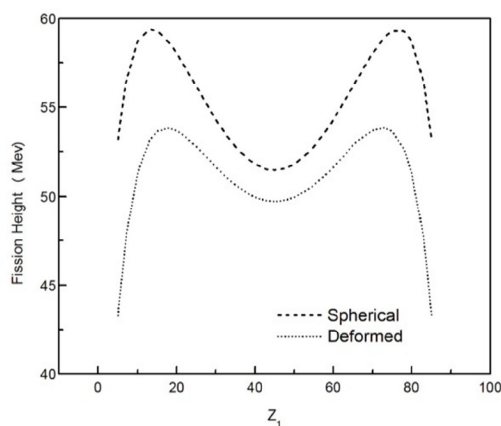
نتیجه حاصل از این مطالب این است که احتمال زیادی برای شکافت وجود دارد، و دیگر احتیاجی نیست که هسته را برانگیخته کنیم تا به لبه سد نزدیک شود. هرگاه آن را تا سطح چاهی که در فاصله دو برآمدگی پدید می‌آید برانگیخته سازیم، احتمال نفوذ از دو سد نازکتر بیشتر می‌شود و شکافت می‌تواند بوقوع بپیوندد.

همچنین نتیجه دیگر این است که احتمال شکافته شدن نامتقارن هسته‌ها یعنی شکافتی که در آن دو پاره ایجاد شده دارای جرم‌های متفاوت باشد بیشتر از احتمال شکافت متقارن یعنی حالتی که در آن دو پاره یکسان باشند است.



شکل 2. ارتفاع سد شکافته هسته تغییر شکل یافته $^{231}_{91}Pa$ ، بصورت

تابعی از Z_1



شکل 3. ارتفاع سد شکافت هسته $^{232}_{90}Th$ ، بصورت تابعی از Z_1

بحث و نتیجه گیری:

در این تحقیق با استفاده از مدل توماس- فرمی به بررسی خصوصیات هسته‌های تغییر شکل یافته سنگین پرداخته و با

مراجع:

- [5] I. G. Moretto, P. T. Lake, and L. Phair, Reexamination and extension of the liquid drop model, *Phys. Rev. C* 86, 021303, 2012.
- [6] K. Zbiri G. Royer, K. Zbiri, Asymmetric fission for ^{76}Se and ^{98}Mo , *Nucl. phys. A* 697, 630, 2002.
- [7] M. Wang, G. Audi, A. H. Wapstra, F. G. Kondev, M. MacComick, X. Xu and B. Pfeiffer, *Chinese physics C* 36, 1603, 2012.
- [1] W. D. Myers and W. J. Swiatecki, Thomas-Fermi model of nuclei, *Ann Phys.* 204, 401-431, 1990.
- [2] W. D. Myers and W. J. Swiatecki, Thomas-Fermi model of nuclei, *Ann Phys.* 211, 292-315, 1991.
- [3] D. N. Poenarau, R. A. Gherghescu, W. Greiner, Fissility of nuclear, *Rom Rep in Phys.* 63, 1133-1146, 2011.
- [4] Preter Moller, Heavy-element fission barriers, *Phys. Rev. C* 79, 064304, 2009.

Study of heavy deformed nuclei properties using Thomas-Fermi model

M. R. Pahlavani¹ and H. Babazadeh²

¹ Associate professor, Department of Nuclear physics, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar-Iran

² M.Sc. student, Department of Nuclear physics, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, Babolsar-Iran

* Corresponding author 's E-mail: m.pahlavani@umz.ac.ir

(Received: 2015/09/07 - Accepted: 2015/01/12)

ABSTRACT

Thomas-Fermi model is one of the oldest models produced to study different properties of nuclei. Density is a major variable to present both dynamical and statically properties of nuclei in this model. Also, there is no limitation for considering any deformation for nuclei. In This investigation, some major properties of heavy deformed nuclei are investigated using Liquid Drop and Thomas-Fermi model. Considering Quadruple and Hexagonal deformations along with energy improved terms in to nuclear matter, Liquid-Drop parameters containing surface, volume and asymmetry parameters are calculated. Using these parameters, fission barrier high for some heavy deformed nuclei in different temperatures are evaluated. The obtained results compared with experimental data. Comparison indicates that fission barrier high is satisfactory for heavy deformed nuclei. Also, using developed version of this model the precise liquid-drop parameters are obtained so these parameters used to study thermodynamic properties of hot deformed nuclei. Such studies improve knowledge of nuclear physics.

Keywords: Deformed nucleus, Thomas-Fermi model, nuclear matter, fission barrier, liquid drop model.