



محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفا در ایزوتوپ های $^{238}_{92}\text{Pu}$, $^{236}_{92}\text{Pu}$

کرم زاده، نرجس*^(۱) - پهلوانی، محمد رضا^(۱)

۱ - دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته ای
بابلسر، مازندران، ایران

چکیده:

نیمه عمر واپاشی آلفا برای دو ایزوتوپ پلوتونیم محاسبه شده است. پتانسیل شامل انرژی های تغییر شکل یافته مدل قطره مایعی چرخان تغییر شکل یافته (DRLDM) و پتانسیل هسته ای وود-سکسون تغییر شکل یافته در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده برای ایزوتوپ های پلوتونیم توافق مطلوبی با داده های تجربی دارند.

کلمات کلیدی: واپاشی آلفا، مدل قطره مایعی چرخان تغییر شکل یافته، پتانسیل وود-سکسون

مقدمه :

واپاشی آلفا یکی از مهم ترین مدهای واپاشی در هسته های سنگین و فوق سنگین است که بعلت ارتباط نزدیک این واپاشی با پدیده تونل زنی کوانتومی پس از کشف آن همواره یکی از مباحث دارای اهمیت ویژه در فیزیک هسته ای بوده است [۱]. بررسی این واپاشی اطلاعات ارزنده ای در زمینه شناخت هر چه بیشتر ساختار هسته در اختیار پژوهشگران قرار میدهد [۲،۳]. یکی از داده های مهم در مطالعه واپاشی آلفا که برای محاسبه آن مدل های مختلفی ارائه شده است، نیمه عمر این واپاشی است. اکثر هسته های آلفازا بعلت سنگین بودن دارای تغییر شکل اند که در این محاسبات این تغییر شکل در نظر گرفته شده است. همچنین نیمه عمر گذارهای حالات برانگیخته نیز در محاسبات لحاظ گردیده است.

Calculating half-life of the Alpha decay in the Pu isotopes

Karamzadeh, Narjes*⁽¹⁾; Pahlavani, Mohammad Reza⁽¹⁾

⁽¹⁾University of Mazandaran, Faculty of science, Department of nuclear Physics

Abstract:

The half-life of Alpha decay is calculated for two Plutonium isotopes. The potential includes energies of the Deformed Rotational Liquid-Drop Model (DRLDM) and the deformed nuclear Woods-Saxon potential. The results for the Plutonium isotopes have a good agreement with experimental data.

Key words: Alpha decay, Deformed Rotational Liquid-Drop Model, Woods-Saxon potential



روش کار :

یکی از بخش‌های مهم در محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفا، محاسبه پتانسیل اندرکنشی بین هسته دختر و ذره آلفا است. با توجه به پیچیدگی‌های نیروهای هسته‌ای، یکی از چالش‌های مهم در این تحقیقات، محاسبه پتانسیل هسته‌ای است [۴]. در این مقاله با رویکرد پدیده شناختی واپاشی آلفا، انرژی‌های ماکروسکوپیکی نیز در پتانسیل اندرکنشی در نظر گرفته شده‌اند. بطور کلی پتانسیل اندرکنشی میان هسته آلفا و دختر شامل پتانسیل هسته‌ای و کولنی است که به جهت اینکه در این بررسی گذارهای حالات برانگیخته را هم در نظر گرفته ایم، بخش انرژی گریز از مرکز نیز به آن افزوده شده است.

$$V(r, \theta, L) = E_V + E_S + E_C + E_l + V_N \quad (1)$$

برای سیستم‌های دو جسمی در مدل قطره مایعی چرخان تغییر شکل یافته انرژی‌های حجمی، سطحی، کولنی را با در نظر گرفتن تغییر شکل برحسب هارمونیک‌های کروی می‌توان نوشت. در مورد انرژی حجمی داریم:

$$E_V = V_V \left(\frac{R_d^3}{3} \right) \left(4\pi + 3 \sum_{l=2,4} \beta_l^3 \right) + 4\pi V_V \left(\frac{R_\alpha^3}{3} \right) \quad (2)$$

که در آن $V_V = 0.8 \text{ MeV}/\text{fm}^3$ ، ضریب انرژی حجمی است و β ضرایب تغییر شکل راتا مرتبه شانزده قطبی شامل می‌گردد. در این محاسبات، ضرایب تغییر شکل برای هسته‌های دختر واپاشی‌های مورد بحث در جدول ۱ آورده شده است [۵،۶]. انرژی سطحی تغییر شکل یافته با استفاده از رابطه [۷،۸]:

$$E_S = 4\pi\tau R_d^2 \left(1 + \frac{1}{8} \sum_{\beta=2,4} (l-1)(l+2)\beta_l^2 \right) + 4\pi\tau R_\alpha^2 \quad (3)$$

محاسبه می‌شود. در این رابطه $\tau = 1.2 \text{ MeV}/\text{fm}^2$ ، ضریب کشش سطحی است. انرژی کولنی تغییر شکل یافته پس از اعمال تغییر شکل بصورت زیر است [۹]:

$$E_C = \frac{3}{5} \left(\frac{Z_d^2 e^2}{R_d} \right) \left(1 - 4\pi \sum_{l=2,4} 5\beta_l^2 \frac{l-1}{2l+1} \right) + \frac{3}{5} \left(\frac{Z_\alpha^2 e^2}{R_\alpha} \right) + \frac{Z_\alpha Z_d e^2}{r} \left(1 + 3 \sum_{l=2,4} R(\theta)^l \beta_l \frac{Y_{l,0}}{(2l+1)r^l} \right) \quad (4)$$

در این رابطه θ زاویه قطبی نسبت به محور تقارن هسته است. پتانسیل تغییر شکل یافته وود-سکسون را نیز بصورت زیر نوشت:

$$V_N(r, \theta) = \frac{-V_0}{1 + e^{[r - \frac{R(\theta)}{a}]}} \quad (5)$$



می توان نوشت. در این رابطه $R(\theta)$ شعاع هسته دختر است که بر حسب هارمونیک های کروی بسط داده شده و a ضریب پخشیده گی سطحی هسته است [۱۰]. داریم،

$$R(\theta) = 1.17 + R_d \left(1 + \sum_{l=2,4} \beta_l Y_{l,0} \right) \quad (۶)$$

$$a = 0.5 + 0.33 I_d \quad (۷)$$

$$R_d = (1.00 + 0.39 I_d) A^{1/3} \quad (۸)$$

$$I_d = \frac{N_d - Z_d}{A_d} \quad (۹)$$

که R_d و I_d شعاع و فزونی نوترون هسته دختر است. انرژی گریز از مرکز هسته که وابسته به تکانه زاویه ای است از رابطه زیر محاسبه و به انرژی های دگر افزوده میشود.

$$E_l = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2} \quad (۱۰)$$

که l اندازه حرکت زاویه ای وابسته به تغییر شکل است. همچنین μ جرم کاهش یافته می باشد.

اکنون با بدست آوردن این پتانسیل اندرکنشی نیمه عمر را میتوان محاسبه کرد.

جدول شماره ۱: مقادیر ضرایب تغییر شکل

Nuclei	β_2	β_4
${}_{92}^{232}U$	۰/۲۶۴۰	۰/۱۱۷
${}_{92}^{234}U$	۰/۲۷۱۸	۰/۱۱۰

مدل محاسباتی نیمه عمر:

در محاسبه نیمه عمر، ارتفاع و موقعیت سد پتانسیل اندرکنشی دارای اهمیت ویژه ای است، بنابراین هرچه پتانسیل دقیق تر در نظر گرفته شود، پارامترهایی همچون ارتفاع و موقعیت سد نیز دقیق تر بدست خواهند آمد. در این مقاله با استفاده از روش W.K.B به محاسبه نیمه عمر می پردازیم [۱۱]. داریم،

$$t_{1/2}(Q, l) = \frac{\ln 2}{\Gamma(Q, l)} \quad (۱۱)$$

پهنای واپاشی با استفاده از رابطه زیر با احتمال تونل زنی ارتباط دارد:

$$\Gamma = \nu P \quad (۱۲)$$



در این رابطه، ν فرکانس برخورد ذره آلفا با دیواره ی سد پتانسیل می باشد و Q انرژی آزاد شده است که تقریباً با انرژی ذره آلفای گسیل شده برابر است. همانطور که در بخش قبل سد پتانسیل تغییر شکل یافته را محاسبه کردیم و پتانسیل را تابعی از θ در نظر گرفتیم، نقاط برگشت که مکانهای قطع پتانسیل با انرژی ذره آلفای گسیل شده است و به نقاط برگشت معروفند، تابعی از زاویه از θ می باشد که برای زوایای مختلف دارای مقادیر متفاوتی اند. بنابراین احتمال تونل زنی با در نظر گرفتن زاویه از رابطه زیر:

$$p = \frac{1}{2} \int_0^\pi T_l(\theta) (\sin \theta d\theta) \quad (13)$$

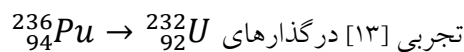
بدست می آید [۱۱]. لازم بذکر است که تابش ذره ی آلفا در زاویه های مختلف امکانپذیر است. همچنین ثابت گسیل از سد پتانسیل اندرکنشی می باشد که با استفاده از تقریب W.K.B به شکل زیر نوشته می شود:

$$T_l(\theta) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{2}{\hbar} \int_a^b dr \sqrt{2\mu V(r, \theta, l) - Q}\right]} \quad (14)$$

در اینجا a و b نقاط بازگشتی داخلی و بیرونی برای ذره آلفای تابش شده در زاویه θ هستند. از آنجائیکه این روش ارائه شده هم تغییرشکل و هم انرژی های ماکروسکوپیکی را در نظر میگیرد به جهت محاسبه نیمه عمر هسته های سنگین که اغلب آلفاها هستند، مناسب بنظر می رسد. لذا ما در این مقاله گذارهای حالت پایه به پایه و حالت پایه به حالت های برانگیخته دو ایزوتوپ پلوتونیم را محاسبه نمودیم.

نتایج :

جدول شماره ۲: مقایسه نیمه عمر محاسبه شده در مدل قطره مایعی، مدل UMADAC [۱۲] با داده های

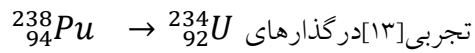


Transition	$Q(\text{MeV})$	L	$t_{1/2}^{theo}$	$t_{1/2}^{exp}$	$t_{1/2}^{UMADAC}$
$0^+ \rightarrow 0^+$	۵/۹۰۶۲	۰	$2/97 \times 10^8$	$1/31 \times 10^8$	$5/71 \times 10^7$
$0^+ \rightarrow 2^+$	۵/۸۵۸۶	۲	$1/26 \times 10^9$	$2/93 \times 10^8$	$1/14 \times 10^8$
$0^+ \rightarrow 4^+$	۵/۷۴۰۴	۴	$4/7 \times 10^{10}$	$3/9 \times 10^{10}$	$5/72 \times 10^8$
$0^+ \rightarrow 6^+$	۵/۵۸۳۵	۶	$9/2 \times 10^{12}$	$4/8 \times 10^{12}$	$7/41 \times 10^9$



$0^+ \rightarrow 8^+$	۵/۳۶۵۵	۸	$۱/۵ \times 10^{۱۴}$	$۶/۹ \times 10^{۱۴}$	$۲/۵ \times 10^{۱۱}$
-----------------------	--------	---	----------------------	----------------------	----------------------

جدول شماره ۳: مقایسه نیمه عمر محاسبه شده از مدل قطره مایعی و مدل UMADAC [۱۲] با داده های



Transition	$Q(\text{MeV})$	L	$t_{1/2}^{theo}$	$t_{1/2}^{exp}$	$t_{1/2}^{UMADAC}$
$0^+ \rightarrow 0^+$	۵/۹۰۶۲	۰	$۲/۵۶ \times 10^۹$	$۳/۹ \times 10^۹$	$۱/۸۳ \times 10^۹$
$0^+ \rightarrow 2^+$	۵/۸۵۸۶	۲	$۲/۷۸ \times 10^۹$	$۹/۵۵ \times 10^۹$	$۲/۶۳ \times 10^۹$
$0^+ \rightarrow 4^+$	۵/۷۴۰۴	۴	$۴/۴ \times 10^{۱۱}$	$۲/۶ \times 10^{۱۲}$	$۷/۴۱ \times 10^۹$
$0^+ \rightarrow 6^+$	۵/۵۸۳۵	۶	$۳/۴ \times 10^{۱۳}$	$۹/۲ \times 10^{۱۳}$	$۲/۳ \times 10^{۱۱}$
$0^+ \rightarrow 8^+$	۵/۳۶۵۵	۸	$۱/۵ \times 10^{۱۶}$	$۴/۰ \times 10^{۱۶}$	$۷/۸ \times 10^{۱۲}$

بحث و نتیجه گیری :

در این مقاله، پتاسیل اندرکنشی در واپاشی آلفا را با استفاده از رویکرد جدیدی از مدل قطره مایعی چرخان برای دو تا از ایزوتوپ های پلوتونیم محاسبه نمودیم. سپس با استفاده از این پتانسیل، نیمه عمر گذارهای مجاز را محاسبه کردیم. نتایج حاصل را با نیمه عمرهای محاسبه شده با استفاده از مدل UMADAC و داده های تجربی مقایسه کردیم. نتایج حاصل توافق خوبی را نسبت به نتایج حاصل از مدل UMADAC با داده های تجربی نشان می دهد.



مراجع :

- [1] D. N. Poenaru, I.-H. Plonski, and W. Greiner, α -decay half-lives of superheavy nuclei, Phys. Rev. C 74, 014312, (2006).
- [2] D. S Delion, S. Peltonen, J. Suhonen, Systematics of the α -decay to rotational states, Phys. Rev. C 73, 014315, (2006)
- [3] E. Hodgson, E. Batak, Cluster emission, transfer and capture in nuclear reactions, Phys. Rep. 374, 1, (2003)
- [4] P. Mohr, α -nucleus potentials, α -decay half-lives, and shell closures for superheavy nuclei, Phys. Rev. C 61, 045802 (2000)
- [5] <http://www-nds.iaea.org/RIPL-2/>
- [6] K.P. Santhosh, S. Sahadevan, J.G. Joseph, Alpha decay of even-even nuclei in the region $78 \leq Z \leq 102$ to the ground state and excited states of daughter, Nucl. Phys. A 850, 34, (2011)
- [7] G. Royer, Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes, J. Phys. G 26, 1149, (2000)
- [8] N. Bohr and J. A. Wheeler, The Mechanism of Nuclear Fission, Phys. Rev, 56, 426, (1939)
- [9] V. Yu. Denisov, H. Ikezoe, α -nucleus optional for α -decay and sub-barrier fusion, Phys. Rev. C 72, 064613, (2005)
- [10] M.R. Pahlavani, S.A. Alavi and N. Tahanipour, Effect of nuclear deformation on the potential barrier and Alpha- decay half-lives of superheavy, Mod. Phys. Lett. A 28, 1350065, (2013)
- [11] V. Yu. Denisov and A. A. Khudenko, α - decay half-lives, α -capture, and α -nucleus potential, Atom. Data Nucl. Data Tables 95, 815 (2009)
- [12] V. Yu. Denisov and A. A. Khudenko, α decay to ground and excited states of heavy deformed nuclei Rev. C 80, 034603, (2009)
- [13] R. Firestone, V. Shirley (Eds.), Table of Isotopes, 8th ed., Wiley, New York, (1996)