

پیش‌بینی نیمه‌عمر واپاشی آلفای ایزوتوپ‌های زوج-زوج $Ds^{270-298}$

INC29-1047

فاطمه احمدوند*، محمدرضا پهلوانی

گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، ۴۱۶-۴۷۴۱۵، بابلسر، ایران

چکیده:

در این کار پژوهشی، نیمه‌عمر واپاشی ایزوتوپ‌های زوج-زوج هسته‌های $Ds^{270-298}$ مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. پتانسیل برهم‌کنشی بین ذره آلفا و هسته دختر به صورت مجموع پتانسیل دبل-فولدینگ، پتانسیل کولنی وانگ (Wang) و پتانسیل مرکزگرا در نظر گرفته شده است. نیمه‌عمر واپاشی آلفا با استفاده از مقادیر انرژی تولید شده در واپاشی (Q_{α}^{WS4}) و تقریب WKB برای احتمال نفوذ ذره آلفا در سد پتانسیل، تخمین زده شده است. نتایج حاصل از محاسبات با نتایج به دست آمده از روش‌های نیمه‌تجربی UDL، VSS، Royer و همچنین قانون تجربی گایگر-نوتال (GN) مقایسه شده است. مطابقت خوبی بین نتایج حاصل از محاسبات تحلیلی این پژوهش و نتایج روش‌های نیمه‌تجربی ذکر شده، مشاهده می‌شود. برای دو ایزوتوپ Ds^{270} و Ds^{282} که دارای نیمه‌عمر تجربی هستند، نتایج محاسبات تحلیلی صورت گرفته نسبت به سه رویکرد نیمه‌تجربی دقیق‌تر هستند. تغییرات نیمه‌عمر واپاشی آلفا برحسب عدد نوترونی هسته مادر را رسم نمودیم و می‌توان اعداد نوترونی $N=162$ و $N=184$ را به‌عنوان اعداد جادویی احتمالی بعد از $N=126$ مشاهده و معرفی نمود.

کلیدواژه‌ها: واپاشی آلفا، نیمه‌عمر، پتانسیل دبل-فولدینگ

Alpha decay half-lives of even-even isotopes $^{270-298}_{110}Ds$

F. Ahmadvand*, M. R. Pahlavani

Department of Nuclear Physics, Faculty of Basic Science, University of Mazandaran, P.O.Box 47415-416, Babolsar, Iran.

Abstract:

In this research, the α -decay half-lives for even-even isotopes of the $^{270-298}_{110}Ds$ nucleus have been studied. The interaction between the α -particle, and daughter nucleus includes the nuclear double-folding, Wang's formula as the Coulomb potential, and centrifugal potentials. The α -decay half-lives have been computed using Q_{α}^{WS4} values and WKB approximation for penetration probability of α -particle through the potential barrier. The calculated half-lives are compared with the results of UDL, VSS, Royer semi-empirical methods and Geiger-Nuttall law as well as the available experimental data. Good correspondence is achieved between the results of the analytical approach and semi-empirical methods. For the isotopes of $^{270}_{110}Ds$ $^{282}_{110}Ds$ that have experimental half-lives, the results of analytical calculations are more accurate than for three semi-empirical methods. Half-lives as a function of parent neutron number have been plotted, and magic numbers after $N=126$, namely $N=162$ & 184 are clearly indicated.

Keywords: Alpha-decay, Half-life, Double-folding potential.

۱. مقدمه

واپاشی آلفا به عنوان یک مد واپاشی غالب در هسته‌های سنگین و فوق سنگین، فرایند بسیار مهمی در فیزیک هسته‌ای به شمار می‌آید. بررسی این فرایند و مدهای واپاشی دیگر، منجر به اطلاعات مفیدی در مورد ساختار هسته‌ها، سطوح انرژی هسته‌ای، اسپین و پارامتر هسته و سایر خصوصیات هسته می‌شوند. بنابراین از زمان کشف این نوع واپاشی توسط رادرفورد [۱] تاکنون، به طور گسترده‌ای هم از جنبه نظری و هم به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. گایگر و نوتال^۲ اولین دانشمندانی بودند که یک قانون تجربی برای نیمه‌عمر واپاشی آلفا ارائه دادند [۲]. قانون گایگر-نوتال (GN) نیمه‌عمر واپاشی آلفا را با انرژی واپاشی ذره آلفای گسیل شده مرتبط می‌کند ($\log_{10} T_{1/2} = A(Z) Q_{\alpha}^{-1/2} + B(Z)$). اگرچه این قانون در برخی موارد خاص نقض می‌شود اما به‌طور کلی با داده‌های تجربی محدود موجود، مطابقت بسیار خوبی دارد [۳]. تدوین این قانون یکی از نقاط عطف در فیزیک مدرن است، که تحولات منتهی به مکانیک کوانتوم را شکل داد. فرمول‌های نیمه‌عمر تجربی مختلفی ارائه شده‌اند که برای محاسبه نیمه‌عمر هسته‌ها، موفق عمل کرده‌اند. این فرمول‌ها دارای ضرایب قابل تنظیمی هستند که از طریق برازش با داده‌های تجربی موجود به دست آمده‌اند، از جمله آن‌ها می‌توان به قانون واپاشی جهانی (UDL) [۴]، رابطه نیمه‌عمر تجربی ویولا-سیبورگ^۳ (VSS) [۵]، فرمول تحلیلی رویر^۴ [۶] و حالت بهبود یافته آن [۷] که اخیراً با در نظر گرفتن داده‌های تجربی جدید، پیشنهاد شده است، اشاره کرد. تاکنون مدل‌های نظری مختلفی نیز برای توصیف واپاشی آلفا ایجاد شده‌اند و مطالعات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است [۸-۱۰]. یکی از موضوعات مهمی که دانشمندان فیزیک هسته‌ای اخیراً بر روی مطالعه آن متمرکز شده‌اند، سنتز و شناسایی عناصر فوق سنگین است. آزمایش‌های متعددی نیز در این زمینه انجام شده است. اثرات پوسته‌ای نقش بسزایی در پایداری هسته‌ها ایفا می‌کنند، بنابراین پیش‌بینی نیمه‌عمر واپاشی هسته‌های فوق سنگین و اثرات پوسته‌ای آن‌ها اهمیت فراوانی دارد. در مطالعات انجام شده، عدد نوترونی $N=126$ یک عدد جادویی معرفی شده است [۱۰، ۱۱]. یک مطالعه دیگر هسته‌ای با اعداد جادویی پروتونی $Z=108$ و نوترونی $N=162$ را پیش‌بینی کرده است [۱۲]. همچنین با استفاده از نتایج به دست آمده عدد جادویی نوترونی $N=184$ نیز پیش‌بینی شده است [۷]. در کار حاضر هدف پیش‌بینی نیمه‌عمر ایزوتوپ‌های زوج-زوج هسته دارمستادیوم در ناحیه $270 \leq A < 300$ و بررسی اثرات پوسته‌ای در این ناحیه می‌باشد.

۲. روش تحلیلی محاسبه نیمه‌عمر واپاشی آلفا

نیمه‌عمر واپاشی آلفا ایزوتوپ‌های سنگین و فوق سنگین را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود [۱۳]:

$$T_{1/2}(s) = \frac{\ln 2}{P_0^{\alpha} P_{V_0}} \quad (1)$$

که در آن V_0 فرکانس برخورد ذره آلفا شکل گرفته در هسته مادر است و برابر با 10^{20} s^{-1} [۱۴] در نظر گرفته می‌شود. P_0^{α} فاکتور پیش‌تشکیل ذره آلفا است که برای محاسبه آن فرمول نیمه‌عمر تجربی زیر را مورد استفاده قرار دادیم:

$$P_0^{\alpha} = a - bc^{Q_{\alpha}} \quad (2)$$

پارامترهای قابل تنظیم $a=0/0.233$ ، $b=-0/71118$ ، $c=0/44358$ از طریق برازش با داده‌های تجربی موجود به دست آمده‌اند.

P در رابطه (۱) احتمال نفوذ ذره آلفا از سد پتانسیل است که بر اساس تقریب WKB با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

Email: F.Ahmadvand01@umail.umz.ac.ir

² Geiger and Nuttall

³ Viola-Seaborg

⁴ Royer

$$P = e^{-2/\hbar \int_{R_{in}}^{R_{out}} \sqrt{2\mu(V_T(R) - Q_\alpha)} dR} \quad (3)$$

Q_α مقدار انرژی آزاد شده در واپاشی آلفا را نشان می‌دهد. R_{out} و R_{in} نقاط برگشت داخل و خارج از سد پتانسیل می‌باشند و با استفاده از شرط $V_T(R) = Q_\alpha$ به دست می‌آیند. $V_T(R)$ پتانسیل برهمکنشی کل سیستم آلفا-دختر است و مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = e^{-2/\hbar \int_{R_{in}}^{R_{out}} \sqrt{2\mu(V_T(R) - Q_\alpha)} dR} \quad (3)$$

$$V_T(R) = V_N(R) + V_C(R) + V_\ell(R) \quad (4)$$

R معرف فاصله بین مراکز دو هسته برهمکنشی است. $V_\ell(R)$ پتانسیل مرکزگرا است که برای هسته‌های زوج-زوج مقدار آن صفر است. $V_N(R)$ پتانسیل هسته‌ای است که در این مقاله از رویکرد دبل-فولدینگ برای محاسبه آن استفاده می‌شود. این رویکرد پتانسیل هسته‌ای را بر اساس نیروی Skyrme با نادیده گرفتن وابستگی به اندازه حرکت و اسپین به صورت زیر تعریف می‌کند [۱۶]:

$$V_N(R) = \quad (5)$$

$$C_0 \left\{ \frac{f_{in} - f_{ex}}{\rho_{00}} \left[\int^j \rho_1^2(r) \rho_2(r-R) dr + \int^j \rho_1(r) \rho_2^2(r-R) dr \right] + \int^{ex} \rho_1(r) \rho_2(r-R) dr \right\} \quad (6)$$

$$f_{in, ex} \frac{N_1 - Z_1}{A_1} \frac{N_2 - Z_2}{A_2} \quad (6)$$

r شعاع هسته‌ای است. $A_{1,2}$ و $Z_{1,2}$ به ترتیب اعداد نوترونی، اعداد پروتونی و اعداد جرمی ذره آلفا و هسته دختر می‌باشند. همچنین، مقادیر $C_0 = 300 \text{ MeV fm}^3$ ، $f_{in} = 0.109$ ، $f_{ex} = 0.54$ ، $f_{in} = 0.42$ ، $\rho_{00} = 0.17 \text{ fm}^{-3}$ در نظر گرفته شده‌اند [۱۷]. رابطه (۵) به چگالی و جهت‌گیری هسته‌های درگیر در برهمکنش وابسته است. چگالی دو پارامتری فرمی برای ذره آلفا و هسته دختر با روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$\rho_1(r) = \frac{\rho_{00}}{1 + \exp((r - R_{s1}(\alpha_1))/a_1)} \quad (7)$$

$$\rho_2(r) = \frac{\rho_{00}}{1 + \exp((|r - R| - R_{s2}(\alpha_2))/a_2)} \quad (8)$$

$R_{s1}(\alpha_1)$ و $R_{s2}(\alpha_2)$ به ترتیب شعاع‌های سطحی دو هسته برهمکنشی می‌باشند و با استفاده از تغییر شکل‌های چهار قطبی به صورت زیر توصیف می‌شوند:

$$R_{si}(\alpha_i) = R_{0i} (1 + \beta_2^i Y_{20}(\alpha_i)) \quad (9)$$

در اینجا $R_{0i} = r_0 A_i^{1/3}$ شعاع دو هسته کروی است که حجم آن‌ها در تغییر شکل ثابت می‌ماند و $r_0 = 1.2 \text{ fm}$ در محاسبات در نظر گرفته شده است. β_2^i پارامتر تغییر شکل دو قطبی است [۱۸]. a_1 و a_2 به ترتیب ضرایب نفوذ سطحی دو هسته برهمکنشی می‌باشند و در این پژوهش 0.54 fm در نظر گرفته شده‌اند [۱۹]. در کار حاضر، این پتانسیل برای مطالعه واپاشی آلفای ایزوتوپ‌های زوج-زوج به کار گرفته می‌شود. ذره آلفا و هسته دختر هر دو کروی هستند، بنابراین فرمول (۹) را می‌توان به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$R_{si}(\alpha_i) = R_{0i} = r_0 A_i^{1/3} \quad (10)$$

پتانسیل کولنی $V_C(R)$ با استفاده از فرمول وانگ [۲۰]، که با پتانسیل دبل-فولدینگ سازگار است، محاسبه می‌شود. این فرمول به صورت زیر تعریف شده است:

(۱۱)

$$V_C(R) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{R} + \left(\frac{9}{20\pi}\right)^{1/2} \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{R^3}\right) \sum_{i=1}^2 r_i^2 \beta_2^i P_2(\cos \gamma_i) + \left(\frac{3}{7\pi}\right) \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{R^3}\right) \sum_{i=1}^2 r_i^2 [\beta_2^i P_2(\cos \gamma_i)]^2$$

γ_i زاویه بین بردار شعاعی \vec{r} و محور تقارن آمین هسته را توصیف می‌کند. فرمول‌های نیمه تجربی مختلفی از طریق برازش با داده‌های تجربی به دست آمده‌اند، که قادر هستند نیمه‌عمر واپاشی آلفای بسیاری از هسته‌ها را به خوبی بازتولید کنند. برخی از آن‌ها به طور مختصر در زیر ارائه شده‌اند:

• قانون واپاشی جهانی (UDL)

Q_i و همکارانش [۴] یک قانون واپاشی جهانی برای مدهای واپاشی آلفا و خوشه‌ای پیشنهاد نمودند که به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Log}_{10} T_{1/2}(s) = a Z_c Z_d \sqrt{\frac{A}{Q_c}} + b \sqrt{A Z_c Z_d (A_d^{1/3} + A_c^{1/3})} + c \quad (12)$$

در این فرمول نیمه‌تجربی کمیت $A = \frac{A_d A_c}{A_d + A_c}$ است و مقادیر ثابت‌های $a = 0.4314$ ، $b = -0.4087$ و $c = -25.7725$ از طریق برازش با داده‌های تجربی به دست آمده است، بطوریکه با استفاده از آن می‌توان نیمه‌عمر هر دو مد واپاشی آلفا و خوشه‌ای را محاسبه نمود.

• رابطه نیمه تجربی ویولا-سیبورگ (VSS)

رابطه نیمه تجربی ویولا-سیبورگ (VSS) [۵]، بر مبنای قانون GN به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{Log}_{10} T_{1/2}(s) = (a Z + b) Q^{-1/2} + c Z + d + h_{log} \quad (13)$$

با انجام برازش نیمه‌عمرهای تجربی واپاشی آلفا هسته‌های زوج-زوج، مقادیر $a = 1.66175$ ، $b = -1.5166$ ، $c = -0.20228$ ، $d = -33.9069$ برای ضرایب ثابت این فرمول به دست آمده است. همچنین، h_{log} با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$h = \begin{cases} 0 & \text{for } Z = \text{even } N = \text{even} \\ 0.772 & \text{for } Z = \text{odd } N = \text{even} \\ 1.066 & \text{for } Z = \text{even } N = \text{odd} \\ 1.114 & \text{for } Z = \text{odd } N = \text{odd} \end{cases}_{log} \quad (14)$$

• فرمول بهبود یافته رویر

در سال ۲۰۰۰، رویر فرمولی را برای محاسبه نیمه‌عمر واپاشی آلفا ارائه داد که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. او و همکارانش اخیراً این فرمول را با در نظر گرفتن پتانسیل مرکزگرا و اثر بلوکه شدن نوکلئون‌های جفت نشده بهبود بخشیده‌اند [۷]. این فرمول به صورت زیر معرفی شده است:

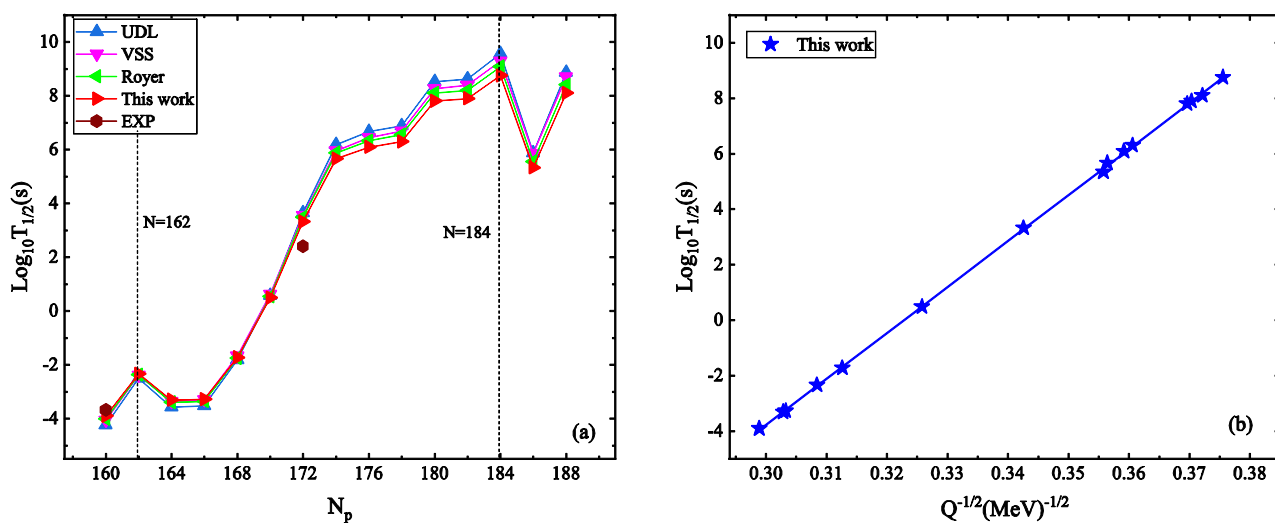
$$\text{Log}_{10} T_{1/2}(s) = a + b A^{1/6} \sqrt{Z} + c \frac{Z}{\sqrt{Q_\alpha}} + d \ell(\ell + 1) + h \quad (15)$$

مقادیر پارامترهای این رابطه مقادیر $a = -26.8125$ ، $b = -1.1255$ ، $c = 1.6057$ ، $d = 0.0513$ می‌باشند و h به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h = \begin{cases} 0 & \text{for } Z = \text{even} \quad N = \text{even} \\ 0.3625 & \text{for } Z = \text{even} \quad N = \text{odd} \\ 0.2812 & \text{for } Z = \text{odd} \quad N = \text{even} \\ 0.7486 & \text{for } Z = \text{odd} \quad N = \text{odd} \end{cases} \quad (16)$$

تحلیل نتایج حاصل از محاسبات

در این کار پژوهشی، نیمه‌عمر واپاشی آلفا ایزوتوپ‌های زوج - زوج $^{298-270}\text{Ds}$ محاسبه شده است. پتانسیل برهمکنشی بین ذره آلفا و هسته دختر به صورت مجموع پتانسیل دبل - فولدینگ، پتانسیل کولنی وانگ (Wang) و پتانسیل مرکزگرا در نظر گرفته شده است و نیمه‌عمر واپاشی آلفا با استفاده از مقادیر انرژی تولید شده در واپاشی (Q_α^{WS4}) و تقریب WKB برای احتمال نفوذ ذره آلفا در سد پتانسیل، تخمین زده شده است. نیمه‌عمر واپاشی آلفا با استفاده از روش‌های نیمه‌تجربی UDL، VSS و Royer نیز محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول ۱ قرار گرفته‌اند. با مقایسه مقادیر ارائه شده در این جدول، سازگاری خوبی بین نتایج رویکرد تحلیلی حاضر و فرمول‌های نیمه‌تجربی دیده می‌شود. برای انجام یک مقایسه بهتر و بررسی اثرات پوسته‌ای ایزوتوپ‌ها، تغییرات نیمه‌عمر واپاشی بر حسب عدد نوترونی هسته مادر در شکل ۱(a) نشان داده شده است. در این شکل نیز مشاهده می‌شود که اختلاف بین نیمه‌عمرهای پیش‌بینی شده توسط هر چهار رویکرد بسیار کم است. در بین این ایزوتوپ‌ها نیمه‌عمر واپاشی آلفای اندازه‌گیری شده دو ایزوتوپ ^{270}Ds و ^{282}Ds وجود دارد [۲۲]. همانطور که در جدول ۱ و شکل ۱(a) دیده می‌شود رویکرد این پژوهش در مقایسه با فرمول‌های نیمه‌تجربی ذکر شده تطابق بهتری با داده‌های تجربی نشان می‌دهد. در شکل ۱(b) تطابق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از محاسبات حاضر و قانون تجربی GN دیده می‌شود که قابل اطمینان بودن مقادیر پیش‌بینی شده را تایید می‌کند. شکل ۱(a) یک تغییر ناگهانی را در روند تغییر نیمه‌عمر بر حسب عدد نوترونی هسته مادر، در اعداد نوترونی $N=162$ و $N=184$ نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد این دو ایزوتوپ نسبت به همسایه‌های مجاورشان پایدارتر هستند و اعداد نوترونی $N=162$ و $N=184$ اعداد جادویی احتمالی بعد از $N=126$ می‌باشند.



شکل ۱. تغییرات نیمه‌عمر واپاشی آلفا ایزوتوپ‌های دارمستادیوم (a) بر حسب عدد نوترونی هسته مادر، (b) برازش شده با قانون تجربی GN

جدول ۱. مقادیر انرژی و نیمه‌عمر واپاشی آلفای ایزوتوپ‌های زوج-زوج هسته دارمستادیوم

α transition	$Q_{\alpha}^{WS4} (MeV)$ [23]	$Log_{10} T_{1/2} (s)$				
		Exp[22]	This work	UDL	VSS	Royer
$^{270}Ds \rightarrow ^{266}Hs$	11.19	-3.69	-3.91	-4.24	-4.06	-4.02
$^{272}Ds \rightarrow ^{268}Hs$	10.51	-	-2.34	-2.51	-2.40	-2.38
$^{274}Ds \rightarrow ^{270}Hs$	10.90	-	-3.31	-3.57	-3.37	-3.40
$^{276}Ds \rightarrow ^{272}Hs$	10.87	-	-3.28	-3.53	-3.30	-3.36
$^{278}Ds \rightarrow ^{274}Hs$	10.23	-	-1.73	-1.83	-1.67	-1.75
$^{280}Ds \rightarrow ^{276}Hs$	9.42	-	0.48	0.57	0.62	0.54
$^{282}Ds \rightarrow ^{278}Hs$	8.52	2.40	3.32	3.64	3.55	3.47
$^{284}Ds \rightarrow ^{280}Hs$	7.87	-	5.66	6.18	5.96	5.88
$^{286}Ds \rightarrow ^{282}Hs$	7.75	-	6.09	6.66	6.44	6.33
$^{288}Ds \rightarrow ^{284}Hs$	7.69	-	6.30	6.89	6.69	6.55
$^{290}Ds \rightarrow ^{286}Hs$	7.32	-	7.80	8.52	8.26	8.10
$^{292}Ds \rightarrow ^{288}Hs$	7.29	-	7.90	8.63	8.39	8.20
$^{294}Ds \rightarrow ^{290}Hs$	7.09	-	8.75	9.56	9.29	9.08
$^{296}Ds \rightarrow ^{292}Hs$	7.90	-	5.33	5.87	5.85	5.55
$^{298}Ds \rightarrow ^{294}Hs$	7.22	-	8.10	8.87	8.70	8.41

۵. نتیجه‌گیری

رویکرد میکروسکوپی مورد استفاده در این مقاله برای پیش‌بینی نیمه‌عمر واپاشی آلفا، تطابق خوبی با فرمول‌های نیمه تجربی مختلف دارد و حتی در مواردی که داده‌های تجربی وجود دارند سازگاری بیشتری با مقادیر تجربی نشان می‌دهد. همچنین این رویکرد اعداد نوترونی $N=162$ و $N=184$ را به‌عنوان اعداد جادویی احتمالی بعد از عدد جادویی $N=126$ معرفی می‌کند. با توجه به اینکه محاسبات صورت گرفته در این مقاله اثرات پوسته‌ای روی پایداری هسته‌های فوق سنگین را به خوبی نمایان می‌کند، امیدواریم که این پژوهش برای سنتز عناصر فوق سنگین و آزمایشات آینده مفید باشد.

۶. مراجع

- 1- E. Rutherford, H. Geiger, An electrical method of counting the number of α -particles from radioactive substances, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 81, 141 (1908).
- 2- H. Geiger, J. M. Nuttall, LVII. The ranges of the α particles from various radioactive substances and a relation between range and period of transformation, *Philos. Mag*, 22, 613 (1911).
- 3- C. Qi, A. N. Andreyev, M. Huyse, R. J. Liotta, P. Van Duppen, R. Wyss, On the validity of the Geiger–Nuttall alpha-decay law and its microscopic basis, *Phys. Lett. B*, 734, 203(2014).
- 4- C. Qi, F. R. Xu, R. J. Liotta, R. Wyss, Universal decay law in charged-particle emission and exotic cluster radioactivity, *Phys. Rev. Lett*, 103, 072501 (2009).
- 5- V. E. Viola Jr, G. T. Seaborg, Nuclear systematics of the heavy elements-II Lifetimes for alpha, beta and spontaneous fission decay, *J. Inorg. Nucl. Chem*, 28, 741 (1966).
- 6- G. Royer, Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys*, 26, 1149 (2000).
- 7- J. G. Deng, H. F. Zhang, G. Royer et al., Improved empirical formula for α -decay half-lives, *Phys. Rev. C*, 101, 034307 (2020).
- 8- M. R. Pahlavani, S. A. Alavi and N. Tahanipour, Effect of nuclear deformation on the potential barrier and alpha-decay half-lives of superheavy nuclei, *Mod. Phys. Lett. A*, 28(16), 1350065 (2013).

- 9- M. R. Pahlavani and N. Karamzadeh, Partial α -decay half-lives of ground to ground and ground to excited states of Thorium family, *Chinese J. Phys.* 56, 1727 (2018).
- 10- K. P. Santhosh, I. Sukumaran, B. Priyanka, Theoretical studies on the alpha decay of 178-220Pb isotopes, *Nucl. Phys. A*, 935, 28 (2015).
- 11- B. Buck, A. C. Merchant, S. M. Perez, Ground state to ground state alpha decays of heavy even-even nuclei, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys*, 17, 1223 (1991).
- 12- Z. Patyk, A. Sobiczewski, Ground-state properties of the heaviest nuclei analyzed in a multidimensional deformation space, *Nucl. Phys. A*, 533, 132 (1991).
- 13- S. S. Malik, R. K. Gupta, Theory of cluster radioactive decay and of cluster formation in nuclei, *Phys. Rev. C*, 39, 1992 (1989).
- 14- G. Royer, Alpha emission and spontaneous fission through quasi-molecular shapes, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys*, 26, 1149 (2000).
- 15- G. Wentzel, Eine verallgemeinerung der quantenbedingungen für die zwecke der wellenmechanik, *Z. Phys.*, 38, 518 (1926).
- 16- G. G. Adamian, N. V. Antonenko, R. V. Jolos, S. P. Ivanova, O. I. Melnikova, Effective nucleus-nucleus potential for calculation of potential energy of a dinuclear system, *Int. J. Mod. Phys. E*, 5, 191 (1996).
- 17- Q. Li, W. Zuo, W. Li, N. Wang, E. Zhao, J. Li, W. Scheid, Deformation and orientation effects in the driving potential of the dinuclear model, *Eur. Phys. J. A*, 24, 223 (2005).
- 18- P. Möller, A. J. Sierk, T. Ichikawa, H. Sagawa, Nuclear ground-state masses and deformations: FRDM (2012), *At. Data Nucl. Data Tables*, 109, 1 (2016).
- 19- A. N. Bohr, B. R. Mottelson, Nuclear Structure, 1, World Scientific, Singapore, (1998).
- 20- C. Y. Wong, Interaction barrier in charged-particle nuclear reactions, *Phys. Rev. Lett*, 31, 766 (1973).
- 21- A. Sobiczewski, Z. Patyk, S. Cwiok, Deformed superheavy nuclei, *Phys. Lett. B*, 224, 1 (1989).
- 22- F. G. Kondev, M. Wang, W. J. Huang, S. Naimi, G. Audi, The NUBASE2020 evaluation of nuclear physics properties, *Chinese Phys. C*, 45, 030001 (2021).
- 23- N. Wang, M. Liu, X. Wu, J. Meng, Surface diffuseness correction in global mass formula, *Phys. Lett. B*, 734, 215 (2014).