



## بررسی اثر دمای هسته بر نیمه عمر واپاشی پروتون‌زای هسته‌های تغییر شکل یافته با استفاده از پتانسیل مجاورتی

عنایت‌اله یزدان‌کیش\*

گروه شیمی کاربردی، دانشکده نفت و گاز، دانشگاه یاسوج، صندوق پستی: ۷۵۸۱۳-۵۶۰۰۱، گچساران - ایران

\*Email: enayat.yazdankish@yahoo.com

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۵/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۴

### چکیده

واپاشی پروتون‌زا از طریق گسیل یک پروتون از درون هسته رخ می‌دهد و در نتیجه عدد اتمی هسته مادر یک واحد کاهش می‌یابد. این واپاشی عمدتاً در هسته‌های غنی از پروتون رخ می‌دهد. سازوکار گسیل پروتون بر اساس پدیده کوانتومی تونل‌زنی داده می‌شود و در هسته‌ها با تقریب ونتزل، کرامرز و بریلوئین (WKB) بیان می‌شود. پتانسیلی که در این‌جا در نظر گرفته شد، شامل جملات پتانسیل کولنی برای هسته تغییرشکل یافته، پتانسیل گریز از مرکز و پتانسیل هسته‌ای است. پتانسیل هسته‌ای با پتانسیل مجاورتی تقریب زده شد و با استفاده از این پتانسیل و هم‌چنین تقریب WKB احتمال نفوذ از سد پتانسیل محاسبه گردید، و بر آن اساس نیمه‌عمر واپاشی پروتون‌زا به دست آمد. اثر دما بر کشش سطحی هسته مورد مطالعه قرار گرفت و با در نظر گرفتن کشش سطحی مایعات رابطه متناسب برای وابستگی دمایی کشش سطحی هسته‌ها در نظر گرفته شد و با اعمال تغییرات دمایی کشش سطحی هسته در پتانسیل مجاورتی، لگاریتم نیمه‌عمر واپاشی پروتون‌زای وابسته به دما به دست آمد که حاکی از انطباق بهتر با داده‌های تجربی است. به منظور مقایسه بهتر، جذر میانگین مربع انحرافات در دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما نیز محاسبه گردید که حاکی از توافق خوب داده‌های آزمایشگاهی و محاسباتی در هر دو حالت است.

**کلیدواژه‌ها:** واپاشی پروتون‌زا، پتانسیل مجاورتی، کشش سطحی هسته

## Investigation of the effect of nucleus temperature on proton decay half-lives of deformed nuclei using proximity potential

E. Yazdankish\*

Applied Chemistry Department, Faculty of Gas and Petroleum, Yasouj University, P.O.BOX: 75813-56001, Gachsaran - Iran

Research Article

Received 29.7.2021, Accepted 25.12.2021

### Abstract

Proton decay occurs through the emission of a proton from the nucleus, resulting in a decrease in the atomic number of the parent nucleus of a unit. This decay occurs mainly in proton-rich nuclei. The proton emission mechanism is based on the quantum tunneling phenomenon and is expressed in the nuclei by Wentzel-Kramers-Brillouin or WKB approximations. The potential considered here includes the Coulomb potential for deformed nuclei, the centrifugal potential, and the nuclear potential. The nuclear potential was approximated by the proximity potential. The probability of the penetration from the potential barrier and the WKB approximation was obtained based on the half-lives of the proton decay. The effect of temperature on the surface tension of the hot nucleus was studied and a proportional relationship was considered by comparing it with the surface tension of liquids. By applying changes in the proximity potential, the logarithm of the proton-decay and temperature-dependent decay logarithms were calculated indicating better agreement with the experimental data. Then, in order to obtain the better comparison, the root of the mean square deviation was calculated indicating a good agreement between the laboratory and computational data in both cases.

**Keywords:** Proton decay, Proximity potential, Surface tension of a Nucleus

Journal of Nuclear Science and Technology

Vol. 102, No 1, 2023, P 9-16

مجله علوم و فنون هسته‌ای

جلد ۱۰۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۹-۱۶



هسته با تغییرات دما تغییر خواهد کرد. با لحاظ این تغییرات پتانسیل هسته‌ای تغییر خواهد کرد که این امر بر روی لگاریتم نیمه عمر واپاشی تأثیر خواهد گذاشت. در بخش ۴، نتایج برای تعدادی از ایزوتوپ‌های هسته‌ای در محدوده  $Z = ۵۱-۸۳$  آورده و بحث شده است و در بخش ۵ نتیجه‌گیری آمده است.

## ۲. واپاشی پروتون‌زا با استفاده از تقریب WKB

نیمه عمر واپاشی پروتون‌زا همانند واپاشی آلفا و دیگر زنجیره‌های هسته‌ای با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$T_{\nu\tau} = \frac{\ln 2}{\nu P} \quad (1)$$

در این رابطه  $T_{\nu\tau}$  نیمه عمر واپاشی است بر حسب ثانیه،  $\nu$  فرکانس برخورد پروتون با دیواره پتانسیل و  $P$  احتمال نفوذ در سد پتانسیل است. در این مقاله به منظور محاسبه فرکانس برخورد از تقریب فرکانس هماهنگ ساده که در مرجع [۶] آورده شده استفاده شده است و با رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\nu = \frac{41 MeV}{hA} \quad (2)$$

در این جا  $h$  ثابت پلانک و  $A$  عدد جرمی هسته مادر است. همانند واپاشی آلفا احتمال نفوذ در سد پتانسیل با رابطه زیر داده می‌شود [۴].

$$p = \exp \left[ -\frac{2}{\hbar} \int_{R_m}^{R_{out}} \sqrt{2\mu(V(r) - Q)} dr \right] \quad (3)$$

در این رابطه  $R_{out}$  و  $R_m$  فاصله نقاط داخلی و خارجی تونل‌زنی تا مرکز هسته است که از رابطه  $V(R_m) = V(R_{out}) = Q$  به دست آمده اند.  $Q$  مقدار انرژی آزاد شده واپاشی است و  $V(r)$  پتانسیل کل است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$V(r) = V_N(r) + V_C(r) + V_l(r) \quad (4)$$

$V_N(r)$ ،  $V_C(r)$  و  $V_l(r)$  به ترتیب پتانسیل هسته‌ای، پتانسیل کولنی و پتانسیل گریز از مرکز است که در ادامه معرفی شده‌اند.  $\mu$  جرم کاهش یافته برای پروتون و هسته باقی‌مانده است و با تقریب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mu = m_p m_{A-1} / (m_p + m_{A-1}) = 938.3(A-1) / A \text{ in MeV } / c^2 \quad (5)$$

عمده هسته‌های کشف شده و شناخته شده، هسته‌های رادیواکتیو هستند و این هسته‌ها از طریق واپاشی‌های مختلفی واپاشیده و در نهایت به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شوند. اکثر واپاشی‌ها از طریق مدهای آلفا، بتا و گاما صورت می‌گیرند، ولی دیگر مدهای واپاشی سهم خود را دارند که شامل شکافت خود به خودی، گسیل پروتون، گسیل نوترون و گسیل دیگر زنجیره‌های هسته‌ای می‌باشند. در این میان گسیل پروتون عمدتاً از هسته‌های غنی از پروتون رخ می‌دهد. این واپاشی در کنار واپاشی‌های بتای مثبت و منفی باعث تغییر عدد اتمی به اندازه یک واحد می‌شوند ولی مکانیسم واپاشی پروتون با آن دو به کلی متفاوت است. مکانیسم گسیل پروتون از هسته همانند مکانیسم گسیل ذره آلفا و دیگر زنجیره‌های هسته‌ای و از طریق پدیده کوانتومی تونل‌زنی توضیح داده می‌شود، که توسط احتمال نفوذ در سد پتانسیل و به طور معمول از طریق تقریب WKB تشریح می‌شود. برای استفاده از این تقریب نیاز است که پتانسیل بین پروتون و هسته باقی‌مانده در نظر گرفته شود که شامل یک جمله گریز از مرکز، پتانسیل کولنی بین پروتون گسیل شده و پروتون‌های هسته باقی‌مانده و همچنین یک پتانسیل هسته‌ای است. پتانسیل هسته‌ای، در این جا، از پتانسیل مجاورتی استفاده شده است. پتانسیل مجاورتی به صورت گسترده برای احتمال هم‌جوشی و تشکیل هسته مرکب بین هسته پرتابه و هسته هدف مورد استفاده قرار گرفته و گسترش یافته و روابط مختلفی برای آن بیان شده است. اگرچه پتانسیل مجاورتی اکثراً و ابتدائاً برای توضیح هم‌جوشی هسته‌ای مورد استفاده قرار گرفت [۱، ۲]، با این حال پتانسیل مجاورتی به طور گسترده‌ای نیز برای واپاشی‌های هسته‌ای از جمله آلفا، پروتون‌زا و دیگر زنجیره‌های هسته‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله خصوصیات متفاوتی که برای پتانسیل مجاورتی توسط پژوهشگران در نظر گرفته شده می‌توان از اثرات هسته‌های تغییر شکل یافته بر شکل پتانسیل و همچنین تأثیرات دمای هسته بر پتانسیل نام برد [۳-۵]. گرچه پتانسیل هسته‌های تغییر شکل یافته و همچنین اثرات دمایی بر پتانسیل هسته‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند ولی به اثرات هم‌زمان این دو کم‌تر پرداخته شده است در این تحقیق به طور ویژه اثرات دمایی و همچنین اثرات تغییر شکل به طور هم‌زمان بر گروهی از ایزوتوپ‌ها در بازه  $Z = ۵۱-۸۳$  مورد مطالعه قرار گرفت و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیدند. در بخش بعدی چارچوب تئوری نیمه عمر واپاشی با استفاده از تقریب WKB و همچنین پتانسیل مجاورتی بیان شده و در بخش ۳ اثرات دمای هسته بر کشش سطحی هسته مورد بررسی قرار گرفت، کشش سطحی



در اين جا  $Z$  و  $N$  و  $k_s = 4$ ،  $\gamma_0 = 1,460,734 \text{ MeV/fm}^2$  به ترتيب عدد نوترونى و عدد اتمى هسته مادر است. و  $\bar{R}$  با رابطه زير بيان مى‌گردد [۴]:

$$\bar{R} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (10)$$

در اين جا  $C_1$  و  $C_2$  شعاع‌هاى مركزى ساسمن<sup>۱</sup>، با معادله زير داده مى‌شوند [۴]:

$$C_i = R_i - \frac{b^2}{R_i} \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (11)$$

و در اين جا  $R_i$  با رابطه زير داده مى‌شود [۴]:

$$R_i = 1,28 A_i^{1/2} - 0,76 + 0,8 A_i^{-1/2} \quad (12)$$

همان‌گونه كه در مرجع [۸] بيان شده است، پتانسيل مجاورتى زيادى توسط پژوهشگران مختلفى ارايه شده است. اين پتانسيل‌ها عموماً براى توضيح و توصيف هم‌جوشى‌هاى هسته‌اى ارايه گرديدند. اين پتانسيل‌ها سپس براى به دست آوردن نيمه‌عمر واپاشى آلفا مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر واپاشى آلفا براى نيمه‌عمر واپاشى پروتون‌زا و ديگر واپاشى‌هاى هسته‌اى نيز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تابع جهاني پتانسيل مجاورتى كه ارايه شده‌اند دو يا سه ضابطه‌اى هستند و معمولاً ضرايب آن‌ها اندكى با هم متفاوت است. پتانسيل مجاورتى كه در اين مقاله در نظر گرفته شده است يك تابع دو ضابطه‌اى است كه با رابطه زير بيان مى‌گردد:

$$\phi(\xi) = \begin{cases} -1,7817 + 0,9270\xi + 0,169\xi^2 - 0,05148\xi^3 & \text{for } 0 \leq \xi < 1,9475 \\ -4,41 \exp(-\xi/0,7176) & \text{for } \xi \geq 1,9475 \end{cases} \quad (13)$$

همان‌گونه كه از رابطه (۸) مشخص است  $\xi = (r - C_1 - C_2)/b$ . پارامتر  $b$  در زير رابطه (۸)، پارامترهاى  $C_1$  و  $C_2$  در رابطه (۱۱) معرفى شده‌اند و  $r$  فاصله بين مركز پروتون گسيل شده و مركز هسته دختر است.

### ۳. وابستگى دمائي كخش سطحى هسته

كخش سطحى مايعات وابسته به دماست و با افزايش دما كاهش مى‌يابد، اين كاهش با افزايش دما تا جايى ادامه مى‌يابد كه كخش سطحى مايع صفر مى‌شود، كه اين دما، دماى بحراني

پتانسيل گريز از مركز با رابطه زير داده شده است:

$$V_l(r) = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2\mu r^2} \quad (6)$$

در اين جا  $l$  تكانه زاويه‌اى است. پتانسيل كولنى براى يك هسته تغيير شكل يافته با رابطه زير بيان مى‌گردد [۷]:

$$V_C(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} \left[ 1 + \frac{r R^2}{\delta r^2} \beta_1 Y_{r_1}(\theta) + \frac{r R^2}{\delta r^2} \beta_2 Y_{r_2}(\theta) \right] \quad (7)$$

در اين جا  $Z_1$  و  $Z_2$  به ترتيب عدد اتمى پروتون و هسته دختر است،  $e$  بار الكترىكى پروتون،  $r$  فاصله مراكز پروتون و هسته دختر و  $R$  مجموع شعاع هسته دختر و شعاع پروتون است  $(R = R_d + R_c)$  كه با رابطه (۱۲) مشخص مى‌شوند.  $\beta_1$  و  $\beta_2$  ضريب بتاى تغيير شكل چهارقطبى و هشتقطبى هسته باقى‌مانده است و توابع  $Y_{n0}(\theta)$  توابع هماهنگ كروي هستند. در يك تقسيم‌بندي كه براى پتانسيل مجاورتى توسط آقاى قدسى و همكارانش صورت گرفته ۲۸ صورت مختلف پتانسيل مجاورتى بيان شده كه آن‌ها را در ۸ گروه تقسيم‌بندي نموده‌اند [۸]. از جمله خصوصيات متفاوتى كه براى پتانسيل مجاورتى توسط پژوهشگران در نظر گرفته شده مى‌توان از اثرات هسته‌هاى تغيير شكل يافته بر شكل پتانسيل و هم‌چنين تأثيرات دمائي هسته بر پتانسيل نام برد [۳-۵]. پتانسيل مجاورتى عموماً از دو قسمت تشكيل يافته است كه يكي تابع جهاني مجاورتى است كه فقط به فاصله دو هسته هم‌جوشى كنده يا دو ذره خارج شده از واپاشى بستگى دارد و ديگرى حاصل ضرب چند پارامتر مختلف است كه به شكل و هندسه هسته‌هاى درگير در واكنش وابسته‌اند [۹، ۱۰]. يكي از اين پارامترها كخش سطحى هسته، كه بعضاً انرژی سطحى هسته نيز ناميده شده، مى‌باشد. پتانسيل هسته‌اى،  $V_N(r)$ ، با رابطه زير داده مى‌شود [۴]:

$$V_N(r) = 4\pi\gamma b \bar{R} \phi((r - C_1 - C_2)/b) \quad (8)$$

در اين جا تابع  $\phi(\xi)$  تابع جهاني پتانسيل مجاورتى ناميده مى‌شود و  $b = 0,99$  عرض سطح هسته‌اى ناميده مى‌شود.  $\lambda$  ضريب كخش سطحى هسته‌اى است و با رابطه زير بيان مى‌گردد [۴]:

$$\gamma = \gamma_0 \left( 1 - k_s \left( \frac{N - Z}{A} \right)^2 \right) \text{ MeV / fm}^2 \quad (9)$$



## ۴. بحث و نتایج

با استفاده از پتانسیل مجاورتی، گریز از مرکز و کولنی، گسیل پروتون از گسیلنده‌های غنی از پروتون مورد مطالعه قرار گرفت. از لحاظ انرژی وقتی گسیل پروتون امکان‌پذیر است که مقدار انرژی آزاد شده مثبت باشد. انرژی آزاد شده در یک واپاشی هسته‌ای از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = \delta M_p - (\delta M_d + \delta M_z) + k(Z_p^e - Z_d^e) \quad (19)$$

در این جا  $\delta M_p$ ،  $\delta M_d$  و  $\delta M_z$  به ترتیب جرم اضافی<sup>۱</sup> هسته مادر، جرم اضافی هسته دختر و جرم اضافی پروتون گسیل شده است.  $kZ_p^e$  و  $kZ_d^e$  به ترتیب انرژی بستگی کل الکترون‌ها در هسته مادر و هسته دختر است. برای هسته‌های با عدد اتمی  $Z > 60$ ، مقادیر  $k = 8.7 \text{ eV}$  و  $\epsilon = 2.517$  و برای هسته‌های با عدد اتمی  $Z \leq 60$ ، مقادیر  $k = 13.6 \text{ eV}$  و  $\epsilon = 2.408$  در نظر گرفته شد [۱۶]. مقادیر بتای تغییر شکل هسته و همچنین مقادیر جرم اضافی از مرجع [۲۱] انتخاب شده‌اند و بر اساس آن احتمال نفوذ از سد پتانسیل و همچنین نیمه عمر واپاشی گسیل پروتون برای هسته‌های با عدد اتمی فرد و در محدوده  $Z = 83-51$  محاسبه و در جدول ۱ آورده شده‌اند. وابستگی دمایی کشش سطحی هسته‌ها نیز در نظر گرفته شد و با مقایسه با کشش سطحی مایعات رابطه‌ای برای آن در نظر گرفته شد که حاکی از کاهش کشش سطحی هسته در برابر افزایش دمای هسته است. رابطه مورد استفاده از مرجع [۴] انتخاب شده است که در آن جا ضرایب کشش سطحی را با متناسب‌سازی با نتایج تجربی استخراج کرده است و مقادیر ثابت برای  $P$  و  $q$  به ترتیب برابر با  $0.7$  و  $2$  در نظر گرفته شده است. دمای هسته به مقدار انرژی هر واکنش وابسته است. مقدار انرژی هر واپاشی،  $Q$ ، پس از محاسبه علاوه بر این که در جدول ۱ بیان شده‌اند در شکل ۱ نیز نمایش داده شده است. مقدار دمای هسته بر اساس رابطه (۱۷) برای هسته‌های مورد نظر به دست آمده و در شکل ۲ رسم شده است. دمای محاسبه شده بر حسب مقیاس انرژی (MeV) محاسبه و رسم شده است. با لحاظ کشش سطحی وابسته به دما تغییرات اندکی در لگاریتم نیمه عمر محاسبه شده مشاهده می‌شود اگر چه این تغییرات اندک است ولی باعث بهبودی مقادیر محاسبه شده و نزدیکی بیشتر به مقادیر آزمایشگاهی است که نشانگر اثرات دمایی بر واپاشی پروتون‌زای هسته‌هاست. در جدول ۱ مقادیر محاسبه شده وابسته به دما نیز در جدول گنجانده شده و برای مقایسه بهتر با داده‌های تجربی مقادیر آزمایشگاهی با استخراج از منابع

مایع نامیده می‌شود. عموماً رابطه‌ای که برای کشش سطحی مایعات به کار می‌رود مطابق ذیل است [۱۱-۱۳]:

$$\gamma = \gamma(T=0) \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n \quad \text{mN/m or mJ/m}^2 \quad (14)$$

در این جا  $\gamma(T=0)$  مقدار ثابتی است که به سیستم مورد بررسی وابسته است،  $T_c$  دمای بحرانی است و  $n$  مقداری است که از طریق آزمایش و با استفاده از داده‌های تجربی متناسب‌سازی می‌شود.

شبیه کشش سطحی مایعات برای هسته‌ها نیز وابستگی دمایی کشش سطحی وجود دارد. بعضی از پژوهشگران با در نظر داشتن رابطه کلاسیکی برای کشش سطحی مایعات، کشش سطحی یک هسته داغ را با رابطه زیر بیان کرده‌اند [۱۴]:

$$\gamma = 1.14 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^2 \quad \text{MeV/fm}^2 \quad (15)$$

همان‌گونه که در مرجع [۴] آورده شده است با در نظر گرفتن کشش سطحی مایعات می‌توان رابطه‌ای برای کشش سطحی هسته‌های داغ مطابق رابطه ذیل در نظر گرفت:

$$\gamma = \gamma(T=0) (1 - pT/\pi)^q \quad \text{MeV/fm}^2 \quad (16)$$

در این رابطه ثابت‌های  $p$  و  $q$  با متناسب‌سازی داده‌های تجربی با مقادیر محاسبه شده به دست می‌آید و  $T$  دمای هسته‌ای بر حسب MeV است که مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید [۴]:

$$E^* = E_v + Q = \frac{1}{b} AT^2 - T \quad \text{MeV} \quad (17)$$

در این رابطه مقدار  $b$  برای هسته‌های میان‌وزن و فوق سنگین به ترتیب برابر ۹ و ۱۰ در نظر گرفته می‌شود و  $E_v$  انرژی ارتعاشی حالت پایه است که خود به انرژی آزاد شده واپاشی وابسته است و با رابطه زیر بیان می‌گردد [۱۵]:

$$E_v = Q \left[ a + (0.95 - a) \exp\left(\frac{4 - A_e}{2.5}\right) \right] \quad (18)$$

در این جا  $a = 0.56$  و  $A_e$  عدد جرمی ذره یا کلاستر گسیل شده است و در این جا ذره گسیل شده پروتون است که عدد جرمی آن یک است.



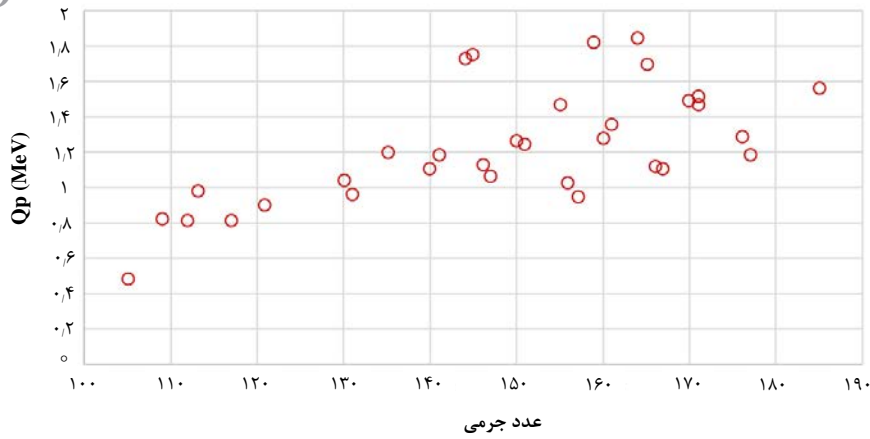
ولی در مورد بعضی از داده‌های به دست آمده مقادیر مستقل از دما هماهنگی بهتری با داده‌های آزمایشگاهی دارند. علاوه بر این به منظور مقایسه بهتر داده‌های محاسبه شده با مقادیر تجربی در شکل ۳ نیمه‌عمر واپاشی محاسبه شده گسیل پروتون و هم‌چنین داده‌های تجربی برحسب عدد جرمی هسته‌ها رسم شده‌اند، در این شکل داده‌های وابسته به دما به دلیل تفاوت کم با داده‌های مستقل از دما رسم نشده‌اند.

در جدول آورده شده است. به منظور مشخص نمودن اختلاف نتایج با داده‌های آزمایشگاهی خطای نسبی داده‌های به دست آمده در هر دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما نیز آورده شده است. داده‌های محاسبه شده در هر دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند، که حاکی از توافق خوب با داده‌های آزمایشگاهی است و داده‌های وابسته به دما هماهنگی و انطباق بهتری با داده‌های تجربی دارد

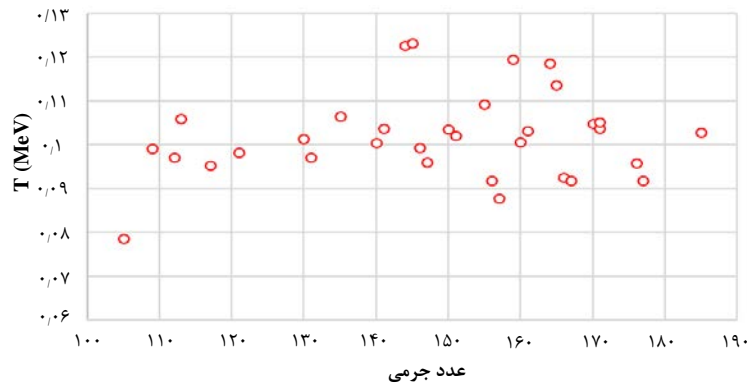
جدول ۱. مقادیر محاسبه شده لگاریتم نیمه‌عمر واپاشی گسیل پروتون در دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما و مقایسه با مقادیر تجربی [۱۷-۲۰]

ایزوتوپ‌ها	$Q_p$	$\beta_f[21]$	$\beta_f[21]$	$l$	$\log T_{1/2}$ $T - indep.$	$R. Error$ $T - indep.$	$\log T_{1/2}$ $T - dep.$	$R. Error$ $T - dep.$	$\log T_{1/2}$ $exp.$
<sup>105</sup> Sb	۰.۴۸	۰.۰۸۱	۰.۰۵۱	۲	۲.۴۳	۰.۴۲۹	۲.۳۹۲	۰.۴۰۷	۱.۷
<sup>109</sup> I	۰.۸۲	۰.۱۶	۰.۰۶	۲	-۳.۷۷۹	۰.۰۵۵	-۳.۷۰۳	۰.۰۷۴	-۴
<sup>113</sup> Cs	۰.۸۱	۰.۲۰۸	۰.۰۶۷	۲	-۲.۸۵۶	۰.۱۳۵	-۲.۸۰۰	۰.۱۴۱	-۳.۲
<sup>113</sup> Cs	۰.۹۸	۰.۲۰۷	۰.۰۵۲	۲	-۵.۱	۰.۰۷۰	-۴.۹۹۱	۰.۰۴۶	-۴.۷۷
<sup>114</sup> La	۰.۸۱۴	۰.۲۹	۰.۱	۲	-۱.۸۱۲	۰.۱۱۶	-۱.۷۷۷	۰.۰۹۴	-۱.۶۲۳
<sup>117</sup> Pr	۰.۹	۰.۳۱۸	۰.۰۷۵	۲	-۲.۱۸۸	۰.۰۹۴	-۲.۱۴۵	۰.۰۷۲	-۲
<sup>120</sup> Eu	۱.۰۳۹	۰.۳۳۱	۰	۲	-۲.۶۳۷	۰.۱۳۴	-۲.۵۸۳	۰.۱۵۲	-۳.۰۴۶
<sup>131</sup> Eu	۰.۹۵۹	۰.۳۳۱	۰	۲	-۱.۶۳۹	۰.۰۱۹	-۱.۶۰۷	۰.۰۳۷	-۱.۶۷
<sup>135</sup> Tb	۱.۲	۰.۳۲۵	-۰.۰۴۶	۳	-۳.۱۷۸	۰.۰۵۰	-۳.۱۱۰	۰.۰۲۷	-۳.۰۲۷
<sup>140</sup> Ho	۱.۱۰۶	۰.۲۹۷	-۰.۰۷	۳	-۱.۹۲	۰.۱۳۶	-۱.۸۸۱	۰.۱۵۳	-۲.۲۲۲
<sup>141</sup> Ho	۱.۱۹	۰.۲۸۶	-۰.۰۶۳	۳	-۲.۹۶۱	۰.۲۳۲	-۲.۸۸۰	۰.۲۰۶	-۳.۳۸۷
<sup>144</sup> Tm	۱.۷۲۵	۰.۲۵۸	-۰.۰۷۷	۵	-۴.۶۶۶	۰.۱۴۴	-۴.۶۵۰	۰.۱۵۵	-۵.۵۶۹
<sup>145</sup> Tm	۱.۷۵۳	۰.۲۴۹	-۰.۰۷۸	۵	-۴.۹۹۶	۰.۰۸۴	-۴.۸۷۳	۰.۱۰۶	-۵.۴۵۶
<sup>146</sup> Tm	۱.۱۳	-۰.۱۹۹	-۰.۰۳۸	۵	-۰.۰۸۶	۰.۸۶۳	-۰.۰۸۴	۰.۸۶۶	-۰.۶۳
<sup>147</sup> Tm	۱.۰۶	-۰.۱۹	-۰.۰۴	۵	۰.۷۲۳	۰.۶۸۱	۰.۷۰۹	۰.۶۴۸	۰.۴۳
<sup>150</sup> Lu	۱.۲۷	-۰.۱۶۴	-۰.۰۵	۵	-۱.۱۵۳	۰.۱۷۶	-۱.۱۲۹	۰.۱۹۳	-۱.۴
<sup>151</sup> Lu	۱.۲۴	-۰.۱۵۶	-۰.۰۴۵	۵	-۰.۸۷۶	۱.۹۸۴	-۰.۸۵۸	۱.۹۶۴	۰.۸۹
<sup>155</sup> Ta	۱.۴۶۸	۰.۰۰۸	۰	۵	-۲.۵۶۳	۰.۰۱۰	-۲.۵۰۷	۰.۰۱۲	-۲.۵۳۸
<sup>156</sup> Ta	۱.۰۳	-۰.۰۵۳	۰.۰۰۱	۲	-۰.۵۸۴	۰.۰۴۱	-۰.۵۷۳	۰.۰۵۹	-۰.۶۰۹
<sup>157</sup> Ta	۰.۹۴۷	۰.۰۴۵	۰.۰۰۱	۰	-۰.۰۳	۰.۹۴۳	-۰.۰۲۹	۰.۹۴۴	-۰.۵۲۳
<sup>159</sup> Re	۱.۸۱۶	۰.۰۵۳	-۰.۰۰۷	۵	-۴.۶۳۶	۰.۰۰۹	-۴.۵۲۶	۰.۰۳۲	-۴.۶۷۸
<sup>160</sup> Re	۱.۲۸	۰.۰۸	۰.۰۰۲	۲	-۳.۰۲۶	۰.۰۱۱	-۲.۹۶۶	۰.۰۳۰	-۳.۰۶
<sup>161</sup> Re	۱.۳۶	۰.۰۸	-۰.۰۰۶	۳	-۳.۱۷۱	۰.۰۷۶	-۳.۱۰۶	۰.۰۹۴	-۳.۴۳
<sup>164</sup> Ir	۱.۸۴۴	۰.۰۸۹	-۰.۰۰۶	۵	-۴.۴۵۹	۰.۱۳۰	-۴.۳۵۴	۰.۱۰۳	-۳.۹۴۷
<sup>165</sup> Ir	۱.۷	۰.۰۹۹	-۰.۰۱۲	۵	-۳.۵۲۹	۰.۰۲۰	-۳.۴۵۰	۰.۰۰۲	-۳.۴۶
<sup>166</sup> Ir	۱.۱۲	۰.۱۰۷	-۰.۰۰۴	۲	-۰.۶۴۲	۰.۲۱۷	-۰.۶۳۰	۰.۲۳۱	-۰.۸۲
<sup>167</sup> Ir	۱.۱۱	۰.۱۱۶	-۰.۰۱۱	۰	-۱.۱۶۳	۰.۲۱۲	-۱.۱۴۲	۰.۱۸۹	-۰.۹۶
<sup>170</sup> Au	۱.۴۸۸	-۰.۰۹۶	-۰.۰۱۲	۲	-۴.۰۲۷	۰.۱۵۳	-۳.۹۴۴	۰.۱۲۹	-۳.۴۹۳
<sup>171</sup> Au	۱.۴۶۴	-۰.۱۰۵	-۰.۰۱۱	۰	-۴.۴۵۸	۰.۰۳۳	-۴.۳۶۷	۰.۰۵۲	-۴.۶۱۱
<sup>171</sup> Au	۱.۵۱	-۰.۱۰۵	-۰.۰۱۱	۴	-۲.۷۴۵	۰.۰۳۶	-۲.۶۸۸	۰.۰۱۴	-۲.۶۵
<sup>176</sup> Tl	۱.۲۸۲	-۰.۰۵۳	-۰.۰۰۷	۰	-۲.۱۴۸	۰.۰۶۰	-۲.۱۰۸	۰.۰۷۷	-۲.۲۸۴
<sup>177</sup> Tl	۱.۱۸	-۰.۰۵۳	-۰.۰۰۷	۰	-۰.۹۴۷	۰.۱۹۳	-۰.۹۳۰	۰.۲۰۷	-۱.۱۷۴
<sup>185</sup> Bi	۱.۵۶	-۰.۰۵۲	۰.۰۱۶	۰	-۴.۴۰۲	۰.۰۱۱	-۴.۳۱۵	۰.۰۰۸	-۴.۳۵

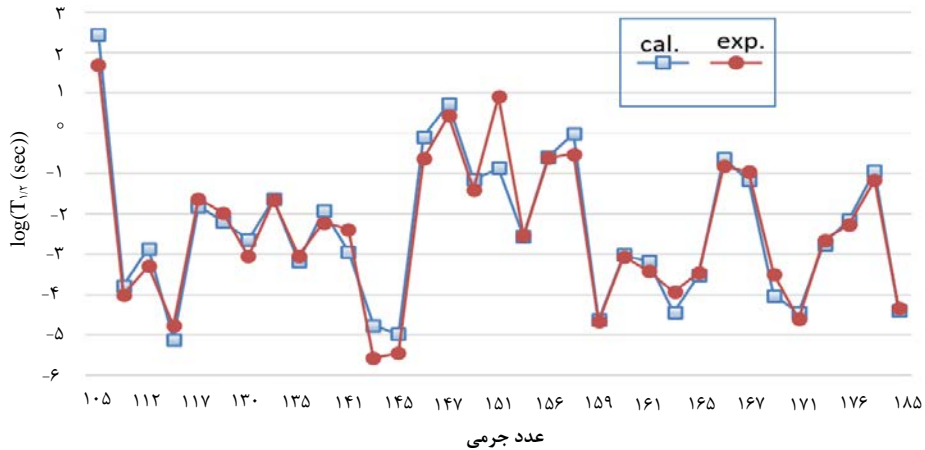




شکل ۱. انرژی آزاد شده در هر واپاشی برحسب MeV.



شکل ۲. دمای هسته برحسب MeV برای هسته‌های مختلف.



شکل ۳. نمودار لگاریتم نیمه عمر محاسبه شده مستقل از دما برحسب عدد جرمی و مقایسه آن‌ها با مقادیر تجربی (مربع‌ها مقادیر محاسبه شده و دایره‌ها مقادیر تجربی است).

انحراف استاندارد در دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما محاسبه و در جدول ۲ بیان شده‌اند. انحراف استاندارد برای دو حالت فرد-زوج و فرد-فرد به صورت جداگانه محاسبه گردید این محاسبه به خوبی نشان می‌دهد که لگاریتم نیمه عمر محاسبه شده در حالت وابسته به دما انطباق بهتری با داده‌های تجربی دارد.

هم‌چنین در این مقاله انحراف استاندارد مقادیر محاسبه شده با مقادیر تجربی مورد بررسی قرار گرفت و رابطه جذر میانگین مربع انحراف‌ها<sup>۱</sup> به صورت زیر در نظر گرفته شد:

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \log_{10} \left( \frac{T_{\gamma i}^{cal}}{T_{\gamma i}^{exp}} \right) \right]^2} \quad (20)$$

1. Root-Mean-Square Deviation



## مراجع

1. M. Manhas, R.K. Gupta, *Proximity potential for deformed, oriented nuclei: "Gentle" fusion and "hugging" fusion*, **Physical Review C**, **72(2)**, 024606 (2005).
2. I. Dutt, *The role of various parameters used in proximity potential in heavy-ion fusion reactions: New extension*, **Pramana**, **76(6)**, 921-931 (2011).
3. R.K. Gupta, N. Singh, M. Manhas, *Generalized proximity potential for deformed, oriented nuclei*, **Physical Review C**, **70(3)**, 034608 (2004).
4. A. Daei-Ataollah, O. Ghodsi, M. Mahdavi, *Proximity potential and temperature effects on  $\alpha$ -decay half-lives*, **Physical Review C**, **97(5)**, 054621 (2018).
5. V. Zanganah, et al, *Calculation of  $\alpha$ -decay and cluster half-lives for 197–226Fr using temperature-dependent proximity potential model*, **Nuclear Physics A**, **997**, 121714 (2020).
6. B.R. Mottelson, S.G. Nilsson, *Classification of the nucleonic states in deformed nuclei*, **Physical Review**, **99(5)**, 1615 (1955).
7. Z. Gao-Long, L. Xiao-Yun, L. Zu-Hua, *Coulomb Potentials between spherical and deformed nuclei*, **Chinese Physics Letters**, **25(4)**, 1247 (2008).
8. O. Ghodsi, A. Daei-Ataollah, *Systematic study of  $\alpha$  decay using various versions of the proximity formalism*, **Physical Review C**, **93(2)**, 024612 (2016).
9. K. Santhosh, J.G. Joseph, S. Sahadevan,  *$\alpha$  decay of nuclei in the range  $67 \leq Z \leq 91$  from the ground state and isomeric state*, **Physical Review C**, **82(6)**, 064605 (2010).
10. K. Santhosh, B. Priyanka, M. Unnikrishnan, *Cluster decay half-lives of trans-lead nuclei within the Coulomb and proximity potential model*, **Nuclear Physics A**, **889**, 29-50 (2012).
11. E.A. Guggenheim, *The principle of corresponding states*, **The Journal of Chemical Physics**, **13(7)**, 253-261 (1945).
12. P. Biney, W.-g. Dong, J. Lienhard, *Use of a cubic equation to predict surface tension and spinodal limits*, **J. Heat Transfer**, **108(2)**, 405-410 (May 1986).
13. A. Fröba, S. Will, A. Leipertz, *Saturated liquid viscosity and surface tension of alternative refrigerants*, **International Journal of Thermophysics**, **21(6)**, 1225-1253 (2000).
14. H. Jaqaman, *Instability of hot nuclei*, **Physical Review C**, **40(4)**, 1677 (1989).
15. E. Javadimanesh, et al, *Investigation of deformed nuclei with a new potential combination*, **Chinese Physics C**, **37(11)**, 114102 (2013).
16. D.T. Akrawy, et al, *Systematic study of  $\alpha$ -decay half-lives using Royer and related formula*, **Nuclear Physics A**, **971**, 130-137 (2018).
17. M. Pfützner, et al, *Radioactive decays at limits of nuclear stability*, **Reviews of Modern Physics**, **84(2)**, 567 (2012).

جدول ۲. جذر میانگین مربع انحراف در دو حالت وابسته به دما و مستقل از دما

	RMSD مستقل از دما	RMSD وابسته به دما
هسته مادر		
فرد - زوج	۱,۰۹۰۶۵	۰,۹۹۸۶۸
فرد - فرد	۰,۸۷۹۵۵۱	۰,۸۲۶۰۳

## ۵. نتیجه‌گیری

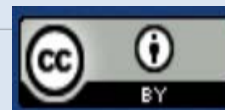
در این مقاله برای به دست آوردن احتمال گسیل یک پروتون از هسته، از تقریب WKB که روشی برای محاسبه احتمال تونل‌زنی و نفوذ در سد پتانسیل است، استفاده شده است. پتانسیلی که در نظر گرفته شد علاوه بر پتانسیل گریز از مرکز و پتانسیل کولنی - که برای هسته تغییر شکل داده شده تعیین گردیده است - شامل یک پتانسیل مجاورتی به عنوان پتانسیل هسته‌ای است. اگر چه تقریب WKB یک روش قدیمی است، ولی در به دست آوردن احتمال نفوذ از سد پتانسیل بسیار کاراست و در بسیاری از مقالات از این روش استفاده می‌شود. پس از به دست آوردن احتمال نفوذ با پتانسیل مجاورتی معرفی شده، لگاریتم نیمه‌عمر واپاشی گسیل پروتون به دست آورده شد و با مقادیر تجربی مقایسه گردید. اثرات دمایی هسته بر نیمه‌عمر واپاشی از طریق اثر دما بر پتانسیل هسته‌ای مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در مقدمه بیان شد، پتانسیل مجاورتی از دو قسمت تشکیل شده است که یک قسمت آن تابع جهانی است و به فاصله ذرات درگیر در واکنش وابسته است و دیگری به شکل و هندسه ذرات درگیر در واکنش بستگی دارد و این قسمت از پتانسیل به کشش سطحی هسته بستگی دارد. کشش سطحی هسته همانند مایعات به دما وابسته است. این اثرات دمایی در رابطه کشش سطحی هسته لحاظ شد که باعث انطباق بهتر داده‌های محاسبه شده با داده‌های آزمایشگاهی گردید. انحراف استاندارد از مقادیر تجربی نیز برای دو گروه هسته‌های فرد-فرد و فرد-زوج به صورت جداگانه و برای دو حالت مستقل از دما و وابسته به دما نیز محاسبه گردید. انحراف استاندارد برای هسته‌های فرد-زوج نسبت به هسته‌های فرد-فرد مقادیر بهتری به دست آمد و هم‌چنین در حالت وابسته به دما انحراف استاندارد نسبت به حالت مستقل از دما مقادیر کمتری داشت. نتایج به دست آمده در کل حاکی از انطباق خوب داده‌های محاسبه شده به ویژه در حالت وابسته به دما با مقادیر تجربی می‌باشد اگر چه در بعضی از داده‌های به دست آمده مقادیر مستقل از دما انطباق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد.



18. K. Santhosh, I. Sukumaran, *Description of proton radioactivity using the Coulomb and proximity potential model for deformed nuclei*, *Physical Review C*, **96(3)**, 034619 (2017).
19. A. Sonzogni, *Proton radioactivity in  $Z > 50$  nuclides*, *Nuclear Data Sheets*, **95(1)**, 1-48 (2002).
20. D. Delion, R. Liotta, R. Wyss, *Systematics of proton emission*, *Physical Review Letters*, **96(7)**, 072501, (2006).
21. [<http://www-nds.iaea.org/RIPL-2>].

**COPYRIGHTS**

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

عنايت‌اله يزدان‌كيش (۱۴۰۱)، بررسی اثر دمای هسته بر نیمه‌عمر واپاشی پروتون‌زای هسته‌های تغییر شکل یافته با استفاده از پتانسیل مجاورتی، ۱۰۲، ۹-۱۶

DOI: [10.24200/nst.2022.1462](https://doi.org/10.24200/nst.2022.1462)

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1326.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1326.html)

