

نشربه تابش وفناوری ، سته ای

نشریه تابش و فناوری هسته ای، دوره ٤، شماره ٤، زمستان ۱۳۹٦

پروتونزایی هسته های ¹⁷⁷Bi ، ¹⁷¹Au ، ^{164,165,166,167}Ir و ¹⁸⁵Bi

وحيد دهقاني، سيدعليرضا علوي*

استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، سیستان و بلوچستان، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۲/۰۹/۰۱ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱ ۱۳۹۷ (۱۳۹۷)

چکیدہ

در این مقاله به بررسی رفتار پروتون زایی هسته های I¹⁷¹Au ¹⁷¹Au ¹⁷¹Au ¹⁷¹Au ¹⁷¹Au ¹⁷¹Au روش تغریبی در این محاسبات از روش تغریبی WKB تغییر شکل یافته استفاده شده است و نتایج حاصل نشان دهنده آن است که استفاده از روش تغییر شکل یافته همواره منجر به بلست آمدن مقادیر کوچکتری برای طول عمر پروتون زایی به نسبت فرمول بندی کروی WKB می شود. جهت حفظ خود سازگاری فرمول بندی پارامتر کوانتش وابسته به زاویه را معرفی نمودهایم و با ضرب آن در پتانسیل هسته ای به انجام محاسبات پرداخته ایم. همچنین تطابق خوب نتایج بلست آمده با داده های تجربی نیمه عمر هسته های مورد مطالعه حائز اهمیت است.

واژههای کلیدی: پروتون زایی، WKB، تغییر شکل هسته

سیستان و بلوچستان، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه فیزیک پست الکترونیکی: s.a.alavi@phys.usb.ac.ir

۱. مقدمه

واپاشی پروتون زایی هسته هایی که دور از دره پایداری قرار دارند ابزاری مناسب جهت بررسی ساختار و وضعیت پروتونها درون هسته مي باشد. اين واپاشي در هسته هايي بروز مي كند كه نقصان نوترون دارند و بنابراین پروتون والانس آنها بستگی اندکی به هسته دارد. نظریه نیمه کلاسیکی رایج جهت بررسی این هستهها استفاده از مدلی شبیه به نظریه واپاشی آلفا [۱،۲] است. به این معنی که پروتون نیمه ازاد را درون هسته دختر در نظر میگیرند و سپس احتمال خروج این پروتون احتمال واپاشی هسته مادر را نتیجه میدهد. روشهای نظری جهت انجام محاسبات عمدتا در سه دسته جای می گیرند ۱) نظریه های نیمه کلاسیکی [۳-۸] که بر اساس نظریه WKB فرمول بندی می شوند. دراین روشها احتمال خروج پروتون با استفاده از تقریب WKB محاسبه می-شود. تفاوت پروتون زایی با واپاشی آلفا در این روش پتانسیل موثر بین پروتون گسیل شده و هسته دختر در مقایسه با ذره الفای گسیل شده با هسته دختر و همچنین تفاوت مفهومی بین فاکتور اسپکتروسکوپی در دو سازوکار است. ۲) روشهای بر پایه برابر نهادن تابع موج پروتون در خارج از هسته(تابع موج کولنی) و تابع موج پروتون درون هسته در نقطه ای مرزی و سپس محاسبه احتمال خروج پروتون بر اساس چگالی جریان این توابع موج [۹–۱٤]. ۳) روشهای از خانواده واپاشی خوشه ای و شکافت. دراین شیوه خوشه خارج شده همان پروتون است [۱۵–۱۷].

از آنجا که تاکنون فرمول بندی WKB برای محاسبه طول عمر واپاشی هسته های تغییر شکل یافته مورد استفاده قرار نگرفته است در این مقاله به استفاده از این فرمول بندی خواهیم پرداخت. نکته

بسیار مهمی که در استفاده از فرمول بندی WKB وجود دارد حفظ خود سازگاری آن است [۱۸]. به این معنی که در محاسبات احتمال گذار حتما بایستی شرط کوانتش زومرفلد نیز لحاظ شود. در این مقاله راه حلی که توسط مراجع [۱۹،۲۰] برای این منظور در مورد واپاشی آلفا و واپاشی خوشهای بکار گرفته شده است. برای اولین بار در مورد واپاشی پروتون زا بکار گرفته شده است.

بنابر این در بخش بعد به بیان فرمول بندی روش WKB در حالتهای تغییر شکل یافته و همچنین پتانسیل موثر پروتونها در هسته تغییر شکل یافته می پردازیم. در بخش دوم به بیان نتایج عددی بدست آمده برای هسته های مورد مطالعه خواهیم پرداخت و در پایان نتایج تحقیق را جمع بندی خواهیم نمود.

۲. مواد و روشها

خلاصه نتايج مدل WKB :

مدل WKB [۲۱] را می توان به منظور محاسبه نیمه عمر یک سیستم کوانتومی ناپایدار با تقارن کروی بکار برد. به این منظور کمیت (k(r) را با استفاده از انرژی جنبشی آزاد شده در واکنش هQ، و پتانسیل موثر وارد بر ذره (V(r) به شکل زیر را تعریف میکنیم:

$$k(r) = \sqrt{\frac{2m}{h^2} |Q_{\alpha} - V(r)|}$$
⁽¹⁾

در رابطه بالا m جرم ذره می باشد. همچنین مقادیر شعاعی که ریشه های این کمیت را بدست می دهد به عنوان نقاط بازگشتی کلاسیکی در نظریه WKB دارای اهمیت زیادی هستند که در این جهت تعیین ضرایب پتانسیل موثر موجود در واپاشی استفاده می-شود. برای ذراتی که در پتانسیل غیر کروی قرار دارند ولی همچنان پتانسیل دارای تقارن سمتی می باشد این روابط به شکل زیر به زاویه نسبت به محور تقارن هسته وابسته می شوند:

$$k(r,\theta) = \sqrt{\frac{2m}{h^2} |Q_{\alpha} - V(r,\theta)|}$$
(7)

$$F(\theta) = \frac{1}{\frac{1}{2} \int_{r_1(\theta)}^{r_2(\theta)} \frac{1}{k(r,\theta)} dr}$$
(V)

$$P(\theta) = exp[-2\int_{r_2(\theta)}^{r_3(\theta)} k(r,\theta)dr]$$
(A)

$$\overline{F} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} F(\theta) d\theta \tag{9}$$

$$\overline{P} = \int_0^{\pi/2} P(\theta) \sin(\theta) d\theta \tag{(1.1)}$$

$$\Gamma = S\overline{F} \frac{h^2}{4m} \overline{P}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = h \frac{Ln(2)}{\Gamma}$$
(11)

در روابط بالا نقاط بازگشتی در هر زوایه همان ریشههای (K(r,θ به ازای آن زوایا هستند. شرط کوانتش در حالت غیر کروی به صورت زیر در هر زاویه بایستی اعمال شود:

 $\int_{r_1(\theta)}^{r_2(\theta)} k(r,\theta) dr = (G-L+1)\frac{\pi}{2}$ (17)

بکار گیری این شرط منجر میشود به محاسبه ضریبی وابسته به زاویه برای پتانسیل که جهت حفظ خود سازگاری فرمالیزم بایستی در پتانسیل موثر ضرب شود.

$$P = exp[-2\int_{r_2}^{r_3} k(r)dr]$$
^(Y)

$$F = \frac{1}{\frac{1}{2} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{k(r)} dr}$$
(٣)

سرانجام میتوان پخش شدگی (عدم قطعیت) انرژی
$$\Gamma$$
 و نیمه
عمر tı/2 را با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد:

$$\Gamma = S\overline{F} \frac{h^2}{4m} \overline{P}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = h \frac{Ln(2)}{\Gamma},$$
(٤)

در روابط بالا S فاکتور طیف سنجی نامیده می شود که در اصل به معنای احتمال حضور یا تشکیل ذره مورد نظر است فارغ از اینکه این ذره گسیل شود یا خیر. در این روابط پتانسیل وارد بر ذره دارای تقارن کروی است. نکته بسیار مهم در مکانیزم ذکر شده این است که جهت حفظ خود سازگاری فرمول بندی این نظریه بایستی شرط کوانتش به صورت

$$\int_{r_1}^{r_2} k(r) dr = (G - L + 1) \frac{\pi}{2}$$
 (\$)

همواره در نظر گرفته شود. در این رابطه L تکانه زاویهای مداری ذره گسیل شده و G ثابتی است که در هر مسئله فیزیکی به شیوه-ای متفاوت محاسبه میشود. این شرط کوانتش در واقع در محاسبات مربوط به گسیل ذرات آلفا و پروتون از هسته جهت تایین ظرایب پتانسیل موثر استفاده میشود. به این صورت که مقدار Qa و L از داده های تجربی گرفته میشود و این رابطه

$$V_{Coul} = \begin{cases} (Ze^2 / 2R_c)[3 - r^2 / R_c^2], (r \le R_c) \\ Ze^2 / r, & (r > R_c) \end{cases}$$

$$V_L = L(L+1) \frac{h^2}{2mr^2}$$
(10)

از آنجا که این روابط با فرض حضور پروتون در هسته دختر نوشته شده اند منظور از A عدد جرمی هسته دختر و Z عدد اتمی هسته دختر میباشد و سایر پارامتر ها عبارت اند از: $R_{so} = 1.01A^{1/3}$ $a_p = 0.75$ $R_p = 1.17A^{1/3}$

$$R_{c} = 1.21A^{1/3}$$
 , $V_{SO} = 6.2$, $a_{SO} = 0.75$, $R_{c} = 1.21A^{1/3}$, $V_{SO} = 6.2$, $a_{SO} = 0.75$, $m = \frac{A}{A+1}$, $M = 2.0 \sum_{\pi} \pi^{2}$, $m = \frac{A}{A+1}$, $m = 2.5 \times \frac{2}{\pi}$, $m = \frac{A}{A+1}$, $m = \frac{A}{A+1}$, $m = 2.5 \times \frac{2}{\pi}$, $m = \frac{A}{A+1}$, $m = \frac{A}{A+1}$, $m = 2.5 \times \frac{2}{\pi}$, $m = \frac{A}{A+1}$,

 $R(\theta) = r_0 A^{1/3} (1 + \beta_2 Y_{20}(\theta) + \beta_4 Y_{40}(\theta))$ (17)

در این رابطه β₂ و β₄ به ترتیب پارامترهای تغییر شکل چهار قطبی و شانزده قطبی هسته دختر و (θ)γ₂₀ و (θ)Y₂₀ هماهنگ های کروی هستند. با بکار گیری این رابطه در روابط (۱۳، ۱۶ و ۱۵) خواهیم دید که این جملات پتانسیل به زاویه وابسته خواهند شد. جمله پتانسیل هسته ای به شکل

$$V_N(\theta) = -V_R \frac{1}{[1 + e^{(r-R(\theta))/a}]}$$
(1V)
 پتانسیل کولنی در حالت غیر کروی به صورت

واپاشی پروتون زا: نظریه واپاشی پروتون زایی اساسا شباهت فراوانی با نظریه واپاشی اَلفا زا [٦، ٢٢] دارد. به این ترتیب که در واپاشی پروتون زا فرض

می شود که پروتون گسیلی قبل از گسیل در هسته دختر قرار گرفته است و سپس با تونل زنی از سد پتانسیل در بیرون هسته مشاهده می شود. تفاوت اصلی این نوع واپاشی با واپاشی آلفا در ۱) پتانسیل موثری است که پروتون حس می کند به عنوان مثال جمله اسپین –اوربیت در این حالت اهمیت پیدا می کند. ۲) ضریب طیف سنجی دو نوع واپاشی اساسا با هم متفاوت هستند و در مورد واپاشی پروتونی با کمک مدل BCS می توان آن را تخمین زد. پتانسیل موثری که توسط پروتون در یک هسته کروی احساس می شود را می توان به شکل زیر نوشت[۲]:

$$V = V_{N} + V_{Spin-Orbit} + V_{Coul} + V_{L}$$

$$V_{N} = -V_{R}f(r, R, a)$$

$$V_{R} = [54.0 - 0.32E_{p} + 0.4\frac{Z}{A^{\frac{1}{3}}} + (1\%) + 24.0\frac{(N-Z)}{A}]MeV$$

$$f(r, R, a) = \frac{1}{[1 + e^{(r-R)/a}]}$$

$$\begin{split} V_{Spin-Orbit} &= V_{SO} \vec{\sigma} \cdot \vec{L} \lambda_{\pi}^2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} f(r, R_{SO}, a_{SO}) \\ \begin{cases} \vec{\sigma} \cdot \vec{L} = L, & (j = L + \frac{1}{2}) \\ \vec{\sigma} \cdot \vec{L} = -(L+1), & (j = L - \frac{1}{2} > 0) \end{cases} \end{split}$$
(15)

شده اند. همچنین مقادیر نیمه عمرهای تجربی از مرجع [۲٤] گرفته شده اند. همچنین در کل محاسبات با توجه به هدف مقاله که بررسی اثر تغییر شکل هسته بر نتایج است مقدار پارامتر طیف سنجی محاسبه نشده است و طبق مرجع [۳] برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. نتایج محاسبات در جدول (۱) ارائه شدهاند. منظور از نیمه عمر کروی در این جدول، نیمه عمری است که با در نظر گرفتن مقدار صفر برای پارامترهای تغییر شکل محاسبه شده است. همان گونه که مشاهده می شود با زیاد شدن قدر مطلق پارمتر های تغییر شکل تفاوت بین نتایج حالت کروی و تغییر شکل یافته افزایش مییابد. در شکل (۱) جهت روشن تر شدن این مطلب نیمه عمر واپاشی هسته ¹⁶⁴ Ir به صورت تابعی از پارامتر تغییر شکل چهار قطبی هسته دختر رسم شده است. در این شکل پارامتر تغییر شکل هشت قطبی هسته دختر با توجه به مقدار کوچک آن تاثیری در نتایج ندارد. با توجه به این شکل می توان دید که با افزایش قدر مطلق پارامتر تغییر شکل چهار قطبی نیمه عمر واپاشی کاهش پیدا میکند.

در این محاسبات پارامتر تغییر شکل چهارقطبی برابر با مقدار ثابت ۱۱۸۸ نگاه داشته شده است. با توجه به این شکل می توان دید که افزایش قدر مطلق پارامتر تغییر شکل شانزده قطبی باعث کاهش نیمه عمر محاسبه شده می شود. با مقایسه با شکل (۱) می توان نتیجه گرفت که وابستگی نیمه عمر به پارامتر شانزده قطبی هسته دختر تقریبا همانند این وابستگی به پارامتر می تواند منجر چهارقطبی است و بنابراین نادیده گرفتن این پارامتر می تواند منجر به پیش بینی نادرست نیمه عمر شود. در شکل (۲) تغییرات نیمه عمر پروتون زایی هسته I_{77}^{64} به صورت تابعی از پارامتر تغییر شکل شانزده قطبی هسته دختر رسم شده است. مانند شکل قبل

$$V_{Coul}(\theta) = (Ze^2 / r)(1 - e^{-\phi(\theta)r - \frac{1}{2}(\phi(\theta)r)^2 - 0.35(\phi(\theta)r)^3})$$

$$\phi(\theta)R(\theta) = \frac{3}{2}.$$
 (1A)

و جمله اسپین-مدار به صورت زیر در خواهند آمد:

$$V_{Spin-Orbit}(\theta) = -V_{SO} \stackrel{\mathbf{r}}{\sigma} \cdot \stackrel{\mathbf{r}}{L} \lambda_{\pi}^{2} \frac{1}{r} \times \sqrt{\nabla f(r, R_{SO}(\theta), a_{SO}) \cdot \nabla f(r, R_{SO}(\theta), a_{SO})}.$$
(19)

حال با در دست داشتن این جملات پتانسیل می توان به محاسبه نیمه عمر واپاشی پروتون زایی در هسته های تغییر شکل یافته بپردازیم. جهت انجام این کار بایستی به اصل خود سازگاری فرمول بندی WKB توجه شود یعنی بایستی شرط کوانتش (۱۲) در تمام محاسبات لحاظ شود. به این منظور مطابق روشی که مراجع [۱۹، ۲۰] در مطالعه واپاشی آلفا و واپاشی خوشهای بکار گرفته اند جمله پتانسیل هسته ای را در ضریب کوانتش وابسته به زاویه ((θ)λ) ضرب میکنیم و سپس این ضریب را با کمک شرط کوانتش محاسبه میکنیم:

$$V_N(\theta) = -\lambda(\theta) V_R \frac{1}{[1 + e^{(r - R(\theta))/a}]}.$$
 (Y ·)

۳. نتایج محاسبات

در این قسمت با بکار گیری پتانسیل ذکر شده در قسمت قبل و با استفاده از روش نیمه کلاسیکی غیرکروی WKB به محاسبه نیمه عمر واپاشی پروتون زایی هسته های *I64,165,166,167 Jr* ، 171Au و 185 Bi خواهیم پرداخت.

در مورد هستههای مطالعه شده طبق روش مرجع [٤] مقدار ثابت G برابر ٤ یا ٥ وابسته به ترازهای پروتونی تک ذرهای هسته مورد مطالعه (جدول ۱) در نظر گرفته شده است و مقادیر پارامترهای تغییر شکل هسته های دختر با استفاده از مرجع [۲۳] جایگزاری

می توان اهمیت در نظر گرفتن تغییر شکل هسته را در این نمودار نیز مشاهده کرد. در شکل (۳) نمودار تغییرات پارامتر (θ) ۸ در مورد هسته دختر بر حسب زاویه رسم شده است. از آنجا که هسته مورد مطالعه دارای وضعیت کشیده یا سیگاری شکل، $0_{<2} A_{,}$ است پارامتر کوانتش رسم شده دارای یک بیشینه در زاویه $\frac{\pi}{2}$ رادیان و یک کمینه در زاویه • رادیان می باشد. این رفتار پیش از انجام محاسبات نیز قابل پیش بینی بود چرا که انتظار می رفت بیشترین انحراف از پتانسیل وضعیت کروی در نقاطی

مشاهده شود که بیشترین تغییر را نسبت به حالت کروی داشته اند یعنی قطب و استوای هسته دختر. اینچنین رفتاری بین تمام هسته های دختر کشیده مورد مطالعه مشاهده گردید. در شکل ٤ رفتار پارامتر کوانتش در هسته هسته دختر پخت رسم شده است. در هسته های دختر پخت رفتار این پارامتر عکس هسته های کشیده است یعنی بیشینه پارامتر کوانتش در زاویه • رادیان و کمینه آن در زاویه $\frac{\pi}{2}$ رادیان مشاهده شده است.

جدول ۱: نیمه عمرهای محاسبه شده و تجربی[۲٤] هسته های مطالعه شده به همراه پارمترهای تغییر شکل [۲۳] هستههای دختر.

واكنش	$t_{\frac{1}{2}}(S)$	$t_{\frac{1}{2}}(S)$	G	eta_4	β_2	$t_{\frac{1}{2}}(S)$
	تغيير شكل	كروى				تجربى
	يافته					
$^{164}_{77}$ Ir $\rightarrow ^{163}_{76}$ Os	4.09E-05	4.39E-05	5	-0.007	0.118	1.1E-04
$^{165}_{77}Ir \rightarrow ^{164}_{76}Os$	2.31E-04	2.52E-04	5	0.006	0.129	3.5E-04
$^{166^{*}}_{77}Ir \rightarrow ^{165}_{76}Os$	6.24E-01	6.95E-01	5	-0.005	0.14	8.4E-01
$^{167}_{77}$ Ir $\rightarrow ^{166}_{76}$ Os	1.08E-02	1.13E-02	5	-0.004	0.151	1.10E- 01
$^{167*}Ir \rightarrow ^{166}Os$	/ 53E±00	5 15E±00	5	-0.004	0.151	7 5E±00
77 17 7 7603	4.551100	5.151+00	5	0.004	0.151	7.51100
$^{171}_{79}Au \rightarrow ^{170}_{78}Pt$	9.21E-05	9.65E-05	4	-0.006	0.129	1.7E-05
$^{171^*}_{79}Au \rightarrow ^{170}_{78}Pt$	7.90E-04	8.65E-04	5	-0.006	0.129	2.22E- 03
$^{177}Tl \rightarrow ^{176}Ha$	5 33F-04	3 78F-04	Δ	-0.03		67E-02
81 ¹ ¹ ~ 80 ¹ ¹ g	5.551 04	5.762 04	т	0.05	0.115	0.712 02
$^{177*}_{81}Tl \rightarrow ^{176}_{80}Hg$	2.88E-05	3.21E-05	5	-0.03	-	4.5E-04
					0.115	
${}^{185}_{83}Bi \rightarrow {}^{184}_{82}Pb$	9.04E-07	9.94E-07	4	0.012	0.0	5.9E-05



٤. نتیجه گیری:

در این مقاله با استفاده از فرمول بندی غیرکروی WKB و بهره گیری از پارامتر وابسته به زاویه کوانتش به محاسبه نیمه عمر واپاشی پروتون زایی هسته های ، ،

و پرداخته ایم. نتایج نشان دهنده اهمیت در نظر گرفتن تغییر شکل هسته در محاسبات مربوط به نیمه عمر این هسته ها بوده است. با استفاده از فاکتور کوانتش وابسته به زاویه ای که در فرمالیزیم مورد استفاده قرار گرفت موفق شدیم خود سازگاری فرمالیزم پروتون زایی از هسته های تغییر شکل یافته را حفظ کنیم. و رفتار این پارامتر را در مورد هسته های کشیده و پخت تجزیه و تحلیل نماییم. همچنین مشاهده شده که نیمه عمر محاسبه شده با این روش در صورت در نظر گرفتن تغییر شکل هسته ای همواره کوچکتر از مقدار نیمه عمر محاسبه شده بدون در نظر گرفتن تغییر شکل هسته ها بود.



decay, cluster radioactivity, and cold fission processes calculated in a unified theoretical framework, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 80, 235-299, 2002.

- [16] D. M. Joseph, N. Ashok and A. Joseph, A systematic study of proton, alpha and cluster decays in Rhenium isotopes using the effective liquid drop model, *Modern Physics Letters A*, 31, 1650031, 2016.
- [17] Y. Z. Wang, J. P. Cui, Y. L. Zhang, S. Zhang and J. Z. Gu, Competition between α decay and proton radioactivity of neutron-deficient nuclei, *Physical Review C*, 95, 014302, 2017.
- [18] N. G. Kelkar and H. M. Castaneda, Critical view of WKB decay widths, *Physical Review C*, 76, 064605, 2007.
- [19] A. Coban, O. Bayrak, A. Soylu, and I. Boztosun, Effect of nuclear deformation on α -decay half-lives, *Physical Review C*, 85, 044324, 2012.
- [20] A. Soylu and S. Evlice, Deformation effects on cluster decays of radium isotopes, *Nuclear Physics* A, 936, 59-73, 2015.
- [21] D. S. Delion, Theory of Particle and Cluster Emission, Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 2010.
- [22] F. D. Becchetti and G. W. Greenlees, Nucleon-Nucleus Optical-Model Parameters, A>40, E<50 MeV, *Physical Review*, 182, 1190, 1969.
- [23] P. M[°]oller, A. J. Sierk, T. Ichikawa, H. Sagawa, Nuclear ground-state masses and deformations: FRDM (2012), *Atomic Data and Nuclear Data Tables*. 109, 1-204, 2016.
- [24] A. A. Sonzogni, Proton Radioactivity in Z > 50 Nuclides, *Nuclear Data Sheets*, 95, 1-48, 2002.

- [1] G. Gamow, Zur Quantentheorie des Atomkernes, Zeitschrift für Physik, 51, 204-212 1928.
- [2] R. W. Gurney and E. U. Condon, Wave mechanics and radioactive disintegration, *Nature*, 122, 439, 1928.
- [3] D. S. Delion, R. J. Liotta and R. Wyss, Theories of proton emission, *Physics Reports*, 424, 113-174, 2006.
- [4] B. Buck, A. C. Merchant and S. M. Perez, Ground state proton emission from heavy nuclei, *Physical Review C*, 45, 1688, 1992.
- [5] S. Hofmann, Proton radioactivity, *Radiochimica Acta*, 70, 93-165, 1995.
- [6] D. N. Poenaru and M. S. Ivascu, Particle Emission from Nuclei: Volume II Alpha, Proton, and Heavy Ion Radioactivities. CRC Press, Inc: Florida 1998.
- [7] M. Pfutzner and M. Karny, Radioactive decays at limits of nuclear stability, *Reviews of modern physics*, 84, 567, 2012.
- [8] A. Zdeb, M. Warda, C.M. Petrache, and K. Pomorski, Proton emission half-lives within a Gamow-like model, *The European Physical Journal A*, 52, 323, 2016.
- [9] E. Maglione, L. S. Ferreira and R. J. Liotta, Nucleon Decay from Deformed Nuclei, *Physical Review Letters*. 81, 538, 1998.
- [10] E. Maglione, L. S. Ferreira and R. J. Liotta, Proton emission from deformed nuclei, *Physical Review C*, 59, R589, 1999.
- [11] A. T. Kruppa, B. Barmore, W. Nazarewicz, and T. Vertse, Fine Structure in the Decay of Deformed Proton Emitters: Nonadiabatic Approach, *Physical Review Letters*, 84, 4549 2000.
- [12] B. Barmore, A. T. Kruppa, W. Nazarewicz and T. Vertse, Theoretical description of deformed proton emitters: Nonadiabatic coupled-channel method, *Physical Review C*. 62, 054315, 2000.
- [13] L. S. Ferreira, M. C. Lopesa and E. Maglione, Decays of drip line nuclei, *Progress in Particle and Nuclear Physics*. 59, 418-424, 2007.
- [14] Y. Qian and Z. Ren, Calculations on decay rates of various proton emissions, *The European Physical Journal A*, 52, 68, 2016.
- [15] S. B. Duarte, O. A. P. Tavares, F. Guzman and A. Dimarco, Half-lives for proton emission, alpha



Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 04 / No. 04 / Winter 2018

Proton emission from 164,165,166,167 Ir , 171 Au , 177 Tl and 185 Bi

V. Dehghani and S. A. Alavi*

Assistant Professor, Department of Physics, University of Sistan and Baluchestan, Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

* Corresponding author's E-mail: * s.a.alavi@phys.usb.ac.ir

(Received: 26/08/2017-Accepted: 12/12/2017)

ABSTRACT

The proton emission from 164,165,166,167 Ir ${}^{171}Au {}^{177}Tl$ and ${}^{185}Bi$ has been investigated using the framework of WKB semi-classical method. In order to keep the self-consistency of the method we have defined an angel dependent quantization factor which was multiplied by the nuclear potential term. We observed that the deformed mechanism results in smaller half lives in comparison with the spherical calculations. Good agreement between the experimental half-lives and the calculated ones was observed.

Keywords: Proton emission, WKB, nuclear deformation