



بیست و یکمین کنفرانس هسته ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

نیمه عمر واپاشی آلفای هسته های فوق سنگین با عدد اتمی $Z \geq 100$

هادیز اده، علی رضا^۱

^۱دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته ای

چکیده

یکی از متداول ترین فرمول هایی که برای محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفای هسته ها به کار می رود، فرمول ۵ پارامتری A. Sobiczewski است. در این پژوهش در بررسی هایی که انجام داده ایم متوجه شدیم که علی رغم دقت بالایی که فرمول برای هسته های سنگین تا $Z=100$ دارد، هرچه پس از آن عدد اتمی افزایش می یابد، از دقت فرمول نیز کاسته می شود. لذا با انجام محاسبات و وارد کردن هسته های فوق سنگین با $Z \geq 100$ بر اساس جدیدترین داده های تجربی AME2012، توانستیم ۵ پارامتر جدید را به دست آوریم که این محدوده از هسته ها را با دقت خوبی مورد پوشش قرار می دهد. در نهایت نتیجه را برای هسته های فوق سنگین محاسبه کرده و با نتایج فرمول اصلی مقایسه نموده ایم.

کلید واژه:

هسته های فوق سنگین، آثار لایه ای، واپاشی آلفا، نیمه عمر

مقدمه

امروزه روش های تئوری بسیاری برای توصیف واپاشی آلفا وجود دارند که از جمله آنها می توان به مدل خوشه ای [3-1]، مدل اندرکنش موثر وابسته به چگالی (DDM3Y) [4,5]، مدل قطره مایعی تعمیم یافته (GLDM) [6-10]، و ... اشاره کرد. در این بین، محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفا (T_α) همواره از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده است. علت این امر این است که با داشتن محاسبه دقیقی از نیمه عمر واپاشی آلفای یک هسته می توان به اطلاعات خوبی در مورد ساختار آن هسته دست یافت. به عنوان مثال می توان به انرژی های حالت پایه، اسپین و پارته، آثار لایه ای، تغییر شکل های هسته ای و ... اشاره کرد [11-19]. این موضوع سبب شده است که طی سال های اخیر فرمول های زیادی برای تعیین نیمه عمر واپاشی آلفای هسته ها معرفی شود. در این مقاله ما بر روی یکی از موفق ترین و معتبرترین نوع از فرمول های پدیده شناختی که تا به امروزه معرفی شده اند یعنی فرمول سویوزوسکی [22] تمرکز کرده ایم. در این فرمول T_α را برحسب تابعی از انرژی واپاشی آلفا (Q_α) به دست می

^۱Sobiczewski



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

آورند. این فرمول دارای ۵ پارامتر قابل تنظیم است که همه آنها از تطبیق با مقادیر تجربی به دست آمده اند. در بررسی هایی که انجام دادیم متوجه شدیم که این فرمول در مقایسه با دیگر فرمول های هم رده تقریباً در مورد اکثر هسته ها دقت بسیار خوبی را از خود نشان می دهد اما در در مقایسه فرمول با خودش به وضوح می توان مشاهده کرد که هرچه از عدد اتمی $Z=100$ به بالاتر می رویم از دقت فرمول کاسته می شود طوری که در برخی موارد نتیجه اصلاً رضایت بخش نیست. لذا بر آن شدیم تا تمرکز خود را بر روی هسته های فوق سنگین گذاشته و با انتخاب حدوداً ۱۳۰ هسته در محدوده $Z=100-118$ که در چهار گروه از هسته های (زوج-زوج، زوج-فرد، فرد-زوج، فرد-فرد) قرار دارند و محاسبه نیمه عمرهای واپاشی آلفای آنها توسط فرمول اصلی، ضرایب دقیق تری را برای این محدوده از هسته های فوق سنگین، ضمیمه فرمول اصلی کنیم و در واقع فرمول را به دو بخش $Z < 100$ و $Z \geq 100$ تقسیم کنیم.

روش کار

در ابتدا به معرفی فرمول اولیه و اصلی که به بهبود آن پرداخته ایم می پردازیم:

فرمول وایولا-سیبرگ (Viola – Seaborg)

در واقع نقطه آغاز فرمول های پدیده شناختی که توانستند نتایج قابل قبولی را ارائه دهند به این فرمول ۷ پارامتری برمبگرد [20]:

$$l_c \quad (1)$$

که در آن Z : عدد اتمی، N : عدد نوترونی، Q_α (MeV): انرژی واپاشی آلفای هسته مادر، h_i : عامل ممانعت میانگین و پارامترهای a, b, c, d پارامترهای قابل تنظیمی هستند که از تطبیق فرمول با مقادیر تجربی به دست می آیند. برای فرمول فوق T_α از [15] و Q_α از [21] گرفته شده است و برای ۶۱ هسته زوج - زوج (e-e) محاسبه گردیده که نتایج آن به صورت زیر است:

$$a = 1/3892, b = 13/862, c = -0/1086, d = -41/458$$

سپس با داشتن این ۴ پارامتر و ثابت نگه داشتن آنها مقادیر h_p, h_n, h_{pn} هم به طریق مشابه بالا به دست آمده اند که به صورت زیر است:

$$h_p = 0/437, h_n = 0/641, h_{pn} = 1/024$$



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

فرمول سوپیزوسکی (Sobiczewski)

پارخومنکو و سوپیزوسکی [22] در سال ۲۰۰۵ با تمرکز بر روی فرمول ۷ پارامتری اولیه وایولا-سیبرگ توانستند تغییراتی را روی آن انجام داده و ضمن ساده سازی فرمول به ۵ پارامتر، دقت آن را نیز افزایش دادند. نتیجه کار آنها به فرمول زیر انجامید:

$$l_c \quad (2)$$

که از زمان معرفی تا کنون جزو متداول ترین فرمول های پدیده شناختی است که برای محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفا مورد استفاده قرار می گیرد. پارامترهای a, b, c از جاگذاری مقادیر تجربی $T_{\alpha}[15]$ و $Q_{\alpha}[21]$ برای هسته های زوج-زوج ($e-e$) به دست آمد که در این نوع هسته ها مقدار $E_{\beta}=0$ در نظر گرفته شد. نتایج که به دست آمد به شرح زیر است [22]:

$$a = 1/5372, b = -0/1607, c = -36/573$$

سپس در مرحله دوم با ثابت نگه داشتن پارامترهای a, b, c و استفاده از همان مقادیر تجربی و جاگذاری آن ها در فرمول اصلی پارامترهای E_{β} را هم برای هسته های $e-o$ و $o-e$ به دست آوردند و در نهایت برای هسته های $o-o$ به این نتیجه رسیدند که بهترین جواب می تواند جمع دو مقدار فوق باشد $(E_{e-o}+E_{o-e})$.

نتایج

کاری که ما در این پژوهش انجام دادیم این بود که بر روی فرمول ۵ پارامتری تمرکز کردیم و متوجه شدیم که برای هسته های با $Z \geq 100$ از دقت فرمول کاسته می شود. لذا تصمیم گرفتیم که به منظور افزایش دقت فرمول، هسته هایی که داری عدد اتمی $Z \geq 100$ هستند را انتخاب کرده و پارامترهای فرمول قبل را برای این هسته ها به طور جداگانه به دست آوریم. نکته مهم و کلیدی که باید متذکر شویم این است که پارامترهای فرمول اصلی از تطبیق با مقادیر تجربی [21] 2003 و [15] گرفته شده اند که ما در این بررسی از داده های [23] 2012 و [24] استفاده کرده ایم و لذا به همین دلیل هسته ها و ایزوتوپ های جدیدی که بعد از سال ۲۰۰۳ سنتز شده اند را هم در فرمول گنجانده ایم. به طریق مشابه با کاری که نویسندگان فرمول اصلی انجام دادند ما هم ابتدا با جاگذاری



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

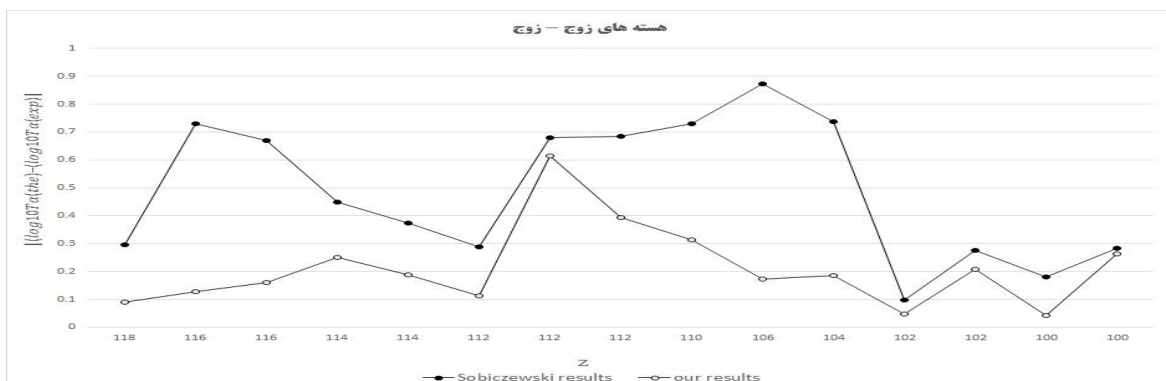
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

Q α [23] و T α [24] در فرمول اصلی، پارامترهای a, b, c را برای هسته‌های e-e به دست آوردیم و سپس با ثابت نگه داشتن آنها E_i ها را هم به دست آوردیم که نتیجه کار ما به شرح زیر است:

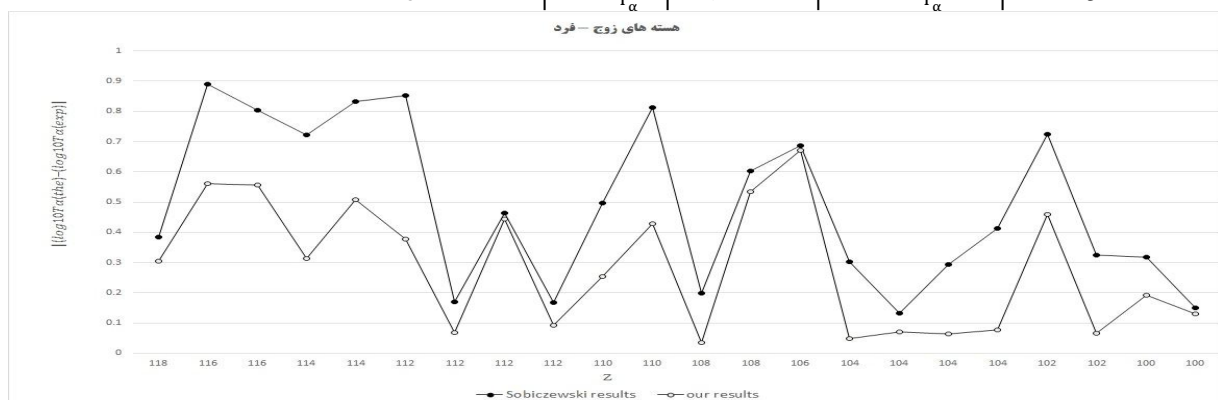
$$a=1/2678, b=-0/1902, c=-24/2233$$

$$\bar{E}_p = 0/2270$$

نتایج به دست آمده از محاسبات نیمه عمر واپاشی آلفای هسته‌های فوق سنگین با عدد اتمی $Z \geq 100$ را با نتایج فرمول اصلی مقایسه کرده و در زیر آورده ایم.



شکل ۱: نمودار $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{Sobiczewski}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توپر) و $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{My}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توخالی) برای هسته های زوج-زوج (Z(even)-N(even))

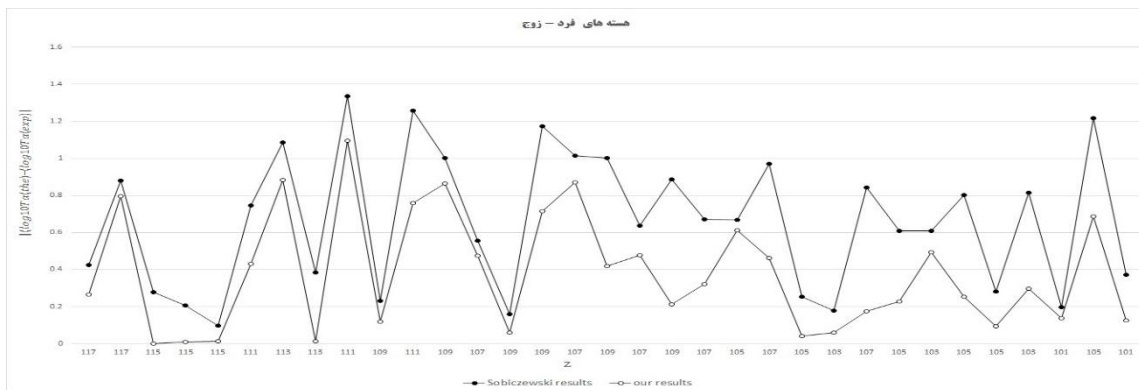


شکل ۲: نمودار $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{Sobiczewski}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توپر) و $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{My}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توخالی) برای هسته های زوج-فرد (Z(even)-N(odd))

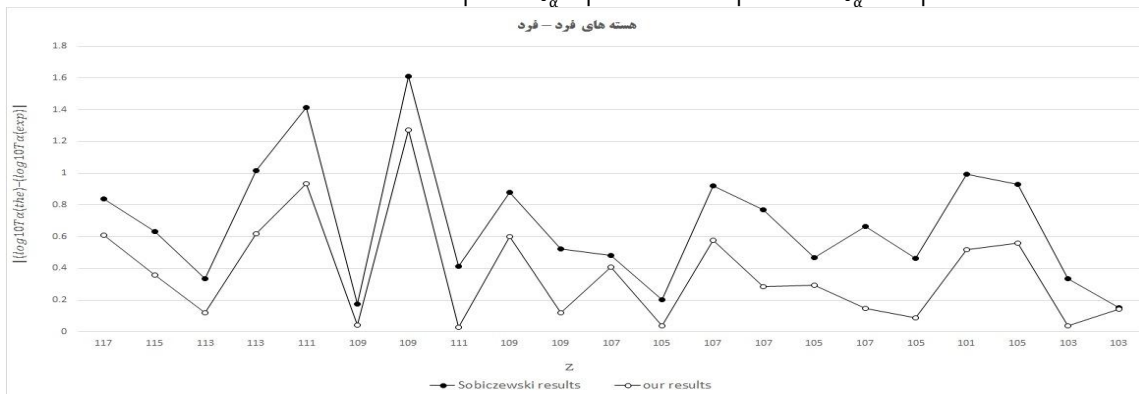


بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل 3: نمودار $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{Sobiczewski}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توپر) و $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{My}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توخالی) برای هسته های $Z(\text{odd})-N(\text{even})$



شکل 4: نمودار $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{Sobiczewski}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توپر) و $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{My}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ (دایره های توخالی) برای هسته های $Z(\text{odd})-N(\text{odd})$

بحث و نتیجه گیری

برای اینکه بتوانیم مقایسه ای بهتر را ارائه دهیم به جای مقادیر به دست آمده از قدرمطلق آن ها استفاده کرده ایم. مقدار $\left| \log_{10} \left(\frac{T_{\alpha}^{\text{Sobiczewski}}}{T_{\alpha}^{\text{exp}}} \right) \right|$ را با استفاده از فرمول اصلی ۵ پارامتری و در دو حالت، ضرایب اصلی (دایره های توپر) و ضرایب ما (دایره های توخالی) محاسبه کرده و نمودار آن ها را رسم نمودیم. مشاهده می شود که در اکثر هسته ها نتیجه محاسبات با ضرایب ما از دقت بیشتری برخوردار است و در واقع یعنی قدر مطلق اختلاف لگاریتم مقادیر تئوری و تجربی نیمه عمر واپاشی آلفا به صفر نزدیک تر است. البته شایان ذکر است که ما برای رسم بهتر نمودار و سهولت مقایسه دو فرمول، قدرمطلق داده ها را رسم کرده ایم، در غیر این صورت مسلم است که برخی داده ها مثبت و برخی منفی به دست آمده اند و در واقع گاهی مقدار تئوری کمتر از مقدار تجربی به دست می آید و گاهی هم بیشتر از آن اما آنچه اهمیت دارد قدر مطلق اختلاف این دو مقدار است که باید به صفر نزدیک تر باشد. در محاسبه نیمه عمر واپاشی آلفای هسته های با $N=152, 162, 164$ و همچنین هسته های اطراف آن ها یعنی هسته های با $N=151, 153, 161, 163$ همانطوری که در رفرنس اصلی [22] هم اشاره شده به دلیل تاثیر آثار لایه ای، انحراف بسیار زیادی مشاهده می شود که ما هم از آنها صرف نظر کرده ایم.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

مراجع :

- [^۱] B. Buck, A. C. Merchant, and S. M. Perez, Phys. Rev. C 45 (1992) 2247; B. Buck, A.C. Merchant, and S. M. Perez, Phys. Rev. Lett. 72 (1994) 1326.
- [^۲] F. R. Xu and J. C. Pei, Phys. Lett. B642 (2006) 322.
- [^۳] C. Xu and Z. Ren, Phys. Rev. C 73 (2006) 041301(R).
- [^۴] P. R. Chowdhury, C. Samanta, and D. N. Basu, Phys. Rev. C 73 (2006) 014612 ; P. R. Chowdhury, C. Samanta, and D. N. Basu, Phys. Rev. C 77 (2008) 044603.
- [^۵] C. Samanta, P. R. Chowdhury, and D. N. Basu, Nucl. Phys. A 789 (2007) 142.
- [^۶] G. Royer and R. A. Gherghescu, Nucl. Phys. A 699 (2002) 479; G. Royer, K. Zbiri, and C. Bonilla, Nucl. Phys. A 730 (2004) 355.
- [^۷] Hongfei Zhang, Wei Zuo, Junqing Li, and G. Royer, Phys. Rev. C 74 (2006) 017304.
- [^۸] H. F. Zhang and G. Royer, Phys. Rev. C 77 (2008) 054318.
- [^۹] Y. Z. Wang, H. F. Zhang, J. M. Dong and G. Royer, Phys. Rev. C 79 (2009) 014316.
- [^{۱۰}] Jianmin Dong, Hongfei Zhang, Yanzhao Wang, Wei Zuo, Junqing Li, Nucl. Phys. A 832 (2010) 198.
- [^{۱۱}] Z. Ren and G. Xu, Phys. Rev. C 36, 456 (1987).
- [^{۱۲}] H. Horiuchi, Nucl. Phys. A522, 257c (1991).
- [^{۱۳}] P. E. Hodgson and E. Betak, Phys. Rep. 374, 1 (2003).
- [^{۱۴}] R. G. Lovas, R. J. Liotta, A. Insolia, K. Varga, and D.S. Delion, Phys. Rep. 294, 265 (1998).
- [^{۱۵}] G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot, and A. H. Wapstra, Nucl. Phys. A729, 3 (2003).
- [^{۱۶}] T. N. Ginter et al, Phys. Rev. C67, 064609 (2003).
- [^{۱۷}] D. Seweryniak et al, Phys. Rev. C 73, 061301(R) (2006).



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [^{۱۸}] A. P. Leppänen et al, Phys. Rev. C 75,054307 (2007).
- [^{۱۹}] C. Xu, Z. Ren, Phys. Rev. C 75, 044301 (2007).
- [20] V.E. Viola, Jr., G.T. Seaborg, J. Inorg. Nucl. Chem. 28, 741 (1966).
- [21] A.H. Wapstra, G. Audi, C. Thibault, Nucl. Phys. A729, 129 (2003).
- [22] A. Parkhomenko, A. Sobiczewski, Acta Phys. Pol. B 36 (2005) 3095.
- [23] G.Audi, M.Wang, et al . The Chinese Physics C ,36(12),1287-1602 (2012).
- [24] G. Audi, F.G. Kondev, M. Wang, B. Pfeiffer, X. Sun, J. Blachot, M. MacCormick , Chinese Physics C . 36 (12): 1157-1286 (2012).