

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

پارامترهای بهینه پتانسیل مدل اپتیکی و چگالی ترازهای هسته مرکب برای تعیین سطح مقطع تولید ^{63}Zn

رستم پور، ملیحه^(۱) — عبودزاده، محمدرضا^(۲) — صادقی، مهدی^(۲) — حمیدی، سعید^{(۱)*}

دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

چکیده:

پتانسیل مدل اپتیکی و چگالی ترازهای هسته نقش مهمی را در مطالعه برهمکنش های هسته ای ایفا می کنند. برای واکنش $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ بهترین مجموعه از پارامترهای پتانسیل مدل اپتیکی به عنوان ورودی های ۱,۶-TALYS تنظیم شده اند و حساسیت سطح مقطع تولید روی -۶۳ به مدل های مختلف چگالی ترازهای هسته بررسی شده است. نتایج نشان می دهند که مدل دمای ثابت، مدل مناسبی برای چگالی ترازها در واکنش $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ است. تطابق خوب بین تابع برانگیختگی های محاسبه شده و تابع برانگیختگی های تجربی، درستی پارامترهای ورودی ۱,۶-TALYS را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: پتانسیل مدل اپتیکی، چگالی ترازهای هسته، ۱,۶-TALYS

مقدمه:

رادیوایزوتوپ روی -۶۳ نقش مهم و فزاینده ای در زندگی بشری ایفا می کند و این رادیو نوکلید با نیمه عمر مناسب (۳۸ دقیقه) کاربرد وسیعی در توموگرافی انتشار پوزیترون (PET) دارد [۱]. مهمترین برهمکنش های بر پایه سیکلوترون برای تولید روی -۶۳ شامل $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ ، $^{65}\text{Cu}(p, 3n)^{63}\text{Zn}$ ، $^{60}\text{Ni}(\alpha, n)^{63}\text{Zn}$ و $^{63}\text{Zn}(p, n+ p)^{64}\text{Cu}$ ، $^{63}\text{Zn}(d, 2n)^{63}\text{Zn}$ ، $^{62}\text{Ni}(\alpha, 3n)^{63}\text{Zn}$ هستند [۱-۱]. از میان این واکنش ها، در واکنش $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ تولید روی-۶۳ از طریق واکنش هسته مرکب انجام می شود [۱۲].

برای بهبود مدل های تئوری در کد ۱,۶-TALYS لازم است پارامترهای پتانسیل مدل اپتیکی و مدل چگالی ترازهای هسته در این کد بهینه شوند. در این مقاله برای تولید روی-۶۳ از طریق واکنش هسته مرکب $^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$ ، بهترین مجموعه از پارامترهای پتانسیل مدل اپتیکی و مدل های مختلف چگالی ترازهای هسته به عنوان ورودی های ۱,۶-TALYS در نظر گرفته شده اند [۱۳]. سپس تابع برانگیختگی محاسبه شده برای هر کدام از این واکنشها با مقادیر تجربی و با مقادیر پیش بینی شده با پیش فرض های ۱,۶-TALYS در ۲۰۱۴-TENDL مقایسه شده اند [۲] و [۱۴].

روش کار:

کد محاسباتی 1.6-TALYS یک برنامه ی کامپیوتری برای واکنش های هسته ای است که قادر به شبیه سازی واکنش های هسته ای با ذره ی پرتابه ی نوترون، فوتون، پروتون، دوترون، تریتون، He-3 و آلفا می باشد. این کد در حوزه واپاشی هسته مرکب یا هسته باقیمانده تعادل یافته از مدل های مختلفی استفاده می کند. در این مقاله برای تعیین سطح مقطع

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴، دانشگاه یزد

واکنش از مدل هاسر فشباخ، پتانسیل مدل اپتیکی Delaroche و Koning و مدل های مختلف چگالی ترازهای هسته استفاده شده است. پتانسیل مدل اپتیکی Delaroche و Koning برای پروتون از رابطه زیر پیروی می کند [۱۳]:

$$V(r, E) = -V_v(r, E) - iW_v(r, E) - iW_D(r, E) + V_{SO}(r, E)L.S + iW_{SO}(r, E) + V_{col}(r)$$

(۱)

پارامترهای $V_v(r, E)$ ، $W_v(r, E)$ ، $W_D(r, E)$ ، $V_{SO}(r, E)$ و $W_{SO}(r, E)$ با روابط زیر تعریف می شوند [۱۳]:

$$V_v(r, E) = V_v(E) \left(1 + \exp \left[\left(r - r_v A^{\frac{1}{3}} \right) / a_v \right] \right)^{-1} \quad (۲)$$

$$W_v(r, E) = W_v(E) \left(1 + \exp \left[\left(r - r_v A^{\frac{1}{3}} \right) / a_v \right] \right)^{-1} \quad (۳)$$

$$W_D(r, E) = W_D(E) \frac{d}{dr} \left(1 + \exp \left[\left(r - r_D A^{\frac{1}{3}} \right) / a_D \right] \right)^{-1} \quad (۴)$$

$$V_{SO}(r, E) = V_{SO}(E) \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(1 + \exp \left[\left(r - r_{SO} A^{\frac{1}{3}} \right) / a_{SO} \right] \right)^{-1} \quad (۵)$$

$$W_{SO}(r, E) = W_{SO}(E) \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(1 + \exp \left[\left(r - r_{SO} A^{\frac{1}{3}} \right) / a_{SO} \right] \right)^{-1} \quad (۶)$$

$$V_c(r) = \frac{Zze^2}{2R_c} \left(3 - \frac{r^2}{R_c^2} \right), \quad r \leq R_c \quad (۷)$$

$$= \frac{Zze^2}{r}, \quad r > R_c$$

در روابط بالا $V_{col}(r)$ پتانسیل کولن، V_v مولفه حقیقی پتانسیل حجمی، W_v مولفه موهومی پتانسیل حجمی، W_D مولفه موهومی پتانسیل سطحی، V_{so} مولفه حقیقی پتانسیل اسپین مدار و W_{SO} مولفه موهومی پتانسیل اسپین مدار هستند و از روابط زیر تبعیت می کنند [۱۳]:

$$V_v(E) = V_1 \left[1 - V_2(E - E_f) + V_3(E - E_f)^2 - V_4(E - E_f)^3 \right] \quad (۷)$$

$$W_v(E) = W_1 \frac{(E - E_f)^2}{(E - E_f)^2 + (W_2)^2} \quad (۸)$$

$$W_D(E) = -i4a_D d_1 \frac{(E - E_f)^2}{(E - E_f)^2 + (d_3)^2} \exp[-d_2(E - E_f)] \quad (۹)$$

$$V_{SO}(E) = V_{SO1} \exp[-V_{SO2}(E - E_f)] \left(\frac{\hbar}{m_{\pi} C} \right)^2 \quad (۱۰)$$

۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

$$W_{SO}(E) = W_{SO1} \frac{(E - E_f)^2}{(E - E_f)^2 + (W_{SO2})^2} \left(\frac{\hbar}{m\pi C} \right)^2 \quad (11)$$

پارامترهای E_f ، W_{SO2} ، W_{SO1} ، V_{so1} ، d_3 ، d_1 ، W_2 ، W_1 ، V_1 و fm بر حسب a_{so} ، r_{so} ، a_D ، r_D ، a_v ، r_v ، R_c بر حسب MeV^{-1} و MeV^{-2} و V_3 بر حسب MeV^{-2} و V_4 بر حسب MeV^{-3} هستند. این پارامترها قابل تنظیم هستند و برای هر هسته مقادیر متفاوتی دارند [۱۳]. برای تعیین سطح مقطع واکنش $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$ ، چندین مجموعه از پارامترهای پتانسیل اپتیکی و مدل های چگالی ترازها تشکیل شده است. کد TALYS-۱،۶ برای هر کدام از این مجموعه ها اجرا شده است. مجموعه ای که سطح مقطع محاسبه شده از آن بهترین همخوانی را با سطح مقطع گزارش شده با تجربه را داشته به عنوان پارامترهای پتانسیل اپتیکی و مدل چگالی ترازها انتخاب شده است.

نتایج:

پارامترهای بهینه برای پتانسیل اپتیکی واکنش $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$ از روابط زیر بدست آمده است:

$$V_p(E) = 0.0011916 E^2 - 0.4448 E - 0.00000044 E^3 + 60.0647 \quad (12)$$

$$W_v(E) = 214.52 E + 742.2392 + 15.5E^2 / (13.84 E + E^2 + 6447.8864) \quad (13)$$

$$W_D(E) = \frac{-\exp(-0.021 E) 5563.81 - E \exp(-0.021 E) 1608.038 - E^2 \exp(-0.021 E)}{13.84 E + E^2 + 182.4464} \quad (14)$$

$$V_{SO}(E) = \exp(-0.004 E) 0.000316 \quad (15)$$

$$W_{SO}(E) = \frac{-0.00228 E - 0.0079 - 0.000165E^2}{13.84 E + E^2 + 25647.8864} \quad (16)$$

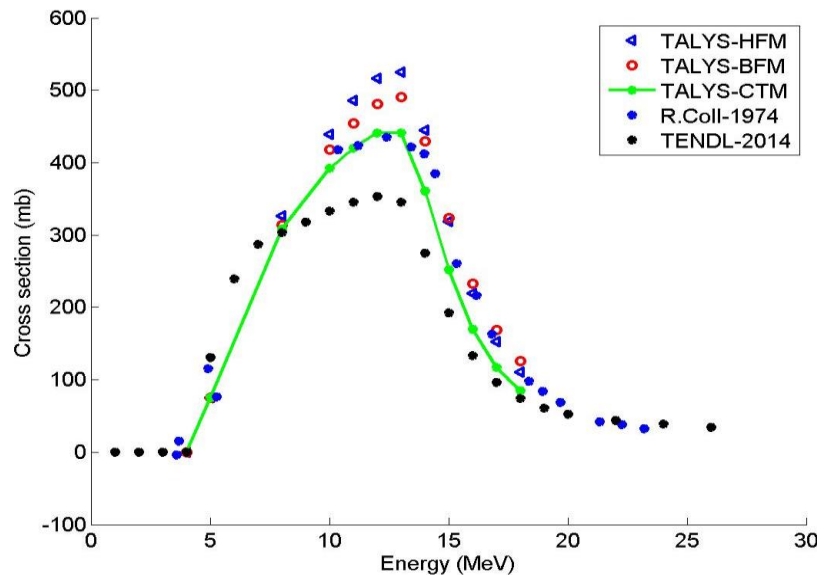
در جدول ۱ پارامترهای ژئومتری بهینه برای پتانسیل اپتیکی واکنش $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$ آورده شده است.

جدول شماره (۱) پارامترهای ژئومتری بهینه برای پتانسیل اپتیکی واکنش $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$

| $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$ | پارامتر |
|------------------------|----------|
| ۱/۲ | r_v |
| ۰/۶۶۳ | a_v |
| ۱/۲۸۴ | r_D |
| ۰/۵۵۰ | a_D |
| ۱ | r_{SO} |
| ۰/۵۸ | a_{SO} |
| ۱/۲۵۵ | r_c |

با استفاده از پارامترهای پتانسیل اپتیکی بدست آمده برای واکنش $^{63}Cu(p, n)^{63}Zn$ ، سطح مقطع تولید روی-۶۳ برای چگالی ترازهای هسته گاز فرمی به عقب برگشته (BFM)، مدل دمای ثابت (CTM) و مدل هارتریفوک (HFM) تعیین شده است. شکل شماره ۱ مقایسه بین مقادیر محاسبه شده، مقادیر تجربی گزارش شده توسط R.Coll و داده های TENDL-۲۰۱۴ را نشان می دهد [۲] و [۱۴].

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل شماره (۱) تابع برانگیختگی واکنش $^{63}\text{Cu}(p,n)^{63}\text{Zn}$ محاسبه شده با TALYS-۱,۶ با در نظر گرفتن پارامترهای بهینه مدل اپتیکی و چگالی ترازهای متفاوت، داده‌های تجربی و داده‌های TENDL-۲۰۱۴

بحث و نتیجه گیری :

تابع برانگیختگی واکنش $^{63}\text{Cu}(p,n)^{63}\text{Zn}$ ، با در نظر گرفتن پارامترهای بهینه محاسبه شده برای پتانسیل اپتیکی و مدل دمای ثابت به عنوان مدل چگالی ترازها محاسبه شده است. تابع برانگیختگی محاسبه شده نسبت به مقادیر پیش بینی شده با پیش فرض های TALYS-۱,۶ در TENDL-۲۰۱۴ به مقادیر تجربی گزارش شده نزدیکتر هستند. تطابق خوب بین تابع برانگیختگی های محاسبه شده و تابع برانگیختگی های تجربی، درستی پارامترهای ورودی TALYS-۱,۶ را نشان می دهد.

مراجع :

1. DeGrado Timothy R, Pandey Mukesh K, Byrne JF, Engelbrecht HP, Jiang H, Packard Alan B, Thomas., Jacobson M, Curran G., Lowe V. Preparation and Preliminary Evaluation of ^{63}Zn -Zinc Citrate as a Novel PET Imaging Biomarker for Zinc. J Nucl Med 55(8):1348-1354(2014)
2. Radionuclides, C. P. Physical Characteristics and Production Methods (No. 468). IAEA, Technical Reports Series. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2009)
3. Collé R, Kishore R, Cumming James B. Excitation functions for (p, n) reactions to 25 MeV on Cu-63, Cu-65, and Ag-107. Phys Rev C Nucl Phys. 9:1819-1830 (1974)



۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

4. Meadows JW. Excitation functions for proton-induced reactions with Copper. Phys Rev. 91:885(1953)
5. Takács S, Tárkányi F, Sonck M, Hermanne A. New cross-sections and inter comparison of proton monitor reactions on Ti, Ni and Cu. Nucl Instrum Methods Phys Res B. 188 :106–111(2002)
6. Levkovskij, V. N. Activation cross section nuclides of average masses ($A= 40-100$) by protons and alpha-particles with average energies ($E= 10-50$ MeV). Inter Vesi, Moscow (1991)
7. Šimečková E, Bem P, Honusek M, Stefanik M, Fischer U, Simakov S.P, Forrest R.A, Koning A.J, Sublet J.C, Avrigeanu M, Roman F.L, Avrigeanu V .Low and medium energy deuteron-induced reactions on $^{63,65}\text{Cu}$ nuclei. Phys. Rev.C. 84:014605(2011)
8. Okamura H, Tamagawa S Excitation Functions For the Deuteron-Induced Reactions on Cu-63 and Cu-65. NUCL PHYS A. 169 :401-406(1971)
9. Gilly J.L, Henriet G.A , Preciosa Alves M, Capron P.C .Absolute cross sections and excitation functions for (d, p) and (d, 2n) reactions on ^{55}Mn , ^{63}Cu , ^{65}Cu , ^{66}Zn , and ^{68}Zn between 3 and 11.6 MeV. Phys Rev. 131:1727(1963)
10. Tanaka, Shigeo. "Reactions of nickel with alpha-particles." Journal of the Physical Society of Japan 15.12:2159-2167(1960).
11. Stelson, P. H., and F. K. McGowan. "Cross sections for (α , n) reactions for medium-weight nuclei." Physical Review 133.4B: B911. (1964)
12. Bertulani, Carlos A., and Pawel Danielewicz. Introduction to nuclear reactions. CRC Press, 2004.
13. Koning A.J, Hilaire S, Goriely S. TALYS-1.6 A nuclear reaction program. User Manual, Research and Consultancy Group (2013)
14. Koning A.J, Rochman D. TENDL-2014: TALYS-based evaluated nuclear data library. <http://www.talys.eu/tendl-2014/>



بیست و دومین کنفرانس هسته‌ای ایران



۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
شماره ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵
شماره ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵