



مطالعه شکافت القایی هسته ^{210}Po تولید شده طی واکنش $^{18}\text{O} + ^{192}\text{Os}$ در چارچوب

مدل آماری تصحیح شده کرامرز

سمانه، زارعی*؛ هادی، اسلامی زاده

دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده

در مقاله حاضر قصد داریم تحول شکافت هسته برانگیخته ^{210}Po خلق شده طی واکنش $^{18}\text{O} + ^{192}\text{Os}$ را در چارچوب مدل آماری کرامرز و مدل آماری اصلاح شده کرامرز شبیه سازی نماییم، و تعداد متوسط نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت و احتمال شکافت وابسته به انرژی برانگیختگی را برآورد نمائیم. و نشان خواهیم داد که در چارچوب مدل آماری اصلاح شده کرامرز در نظر گیری اثر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته شدیداً روی نتایج محاسبات تاثیر می گذارد. و همچنین بر حسب باز تولید داده های تجربی فوق الذکر، مقدار مناسب پارامتر چسبندگی وابسته به انرژی برانگیختگی را برای ماده هسته ای ^{210}Po برآورد خواهیم نمود.

کلید واژه: شکافت، چسبندگی ماده هسته ای، تعداد متوسط نوترون های خروجی.

مقدمه:

یکی از مواردی که فیزیکدانان هسته ای علاقه زیادی به بررسی آن دارند، مطالعه تحول شکافت هسته های برانگیخته می باشد. برای این منظور بطور معمول از مدل آماری استاندارد استفاده گردیده شده است. لیکن در مواردی مشخص گردیده که نتایج حاصل از بررسی بعضی از جنبه های شکافت هسته های برانگیخته در چارچوب این مدل با نتایج کارهای تجربی اختلاف دارد. به طور مثال برآورد این مدل برای تعداد متوسط نوترون های خروجی قبل از فرآیند شکافت در انرژیهای متوسط و زیاد کمتر از تعداد نوترون های خروجی تعیین شده در کارهای تجربی میباشد. بنابراین تغییر یا اصلاح این مدل ضروری به نظر می رسیده است. برای تصحیح مدل آماری استاندارد بایستی به ضعف های این مدل دقت نمود. از ضعف های این مدل میتوان به عدم در نظر گیری اثر چسبندگی ماده هسته ای و عدم در نظر گیری اثر دما در برآورد پهنای شکافت اشاره نمود. برای اولین بار، کرامرز اثر چسبندگی ماده هسته ای و اثر دما را در محاسبه پهنای شکافت در نظر گرفت و مدل آماری کرامرز را ارائه نمود. شایان ذکر می باشد که مدل آماری کرامرز اثر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته، K ، را در بر آورد سد پتانسیل شکافت در نظر نمی گیرد. لذا در این مقاله قصد داریم اثر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته را در برآورد سد پتانسیل شکافت در نظر گیریم و تحول شکافت هسته های برانگیخته ^{210}Po خلق شده طی واکنش های $^{18}\text{O} + ^{192}\text{Os}$ را شبیه سازی نماییم،



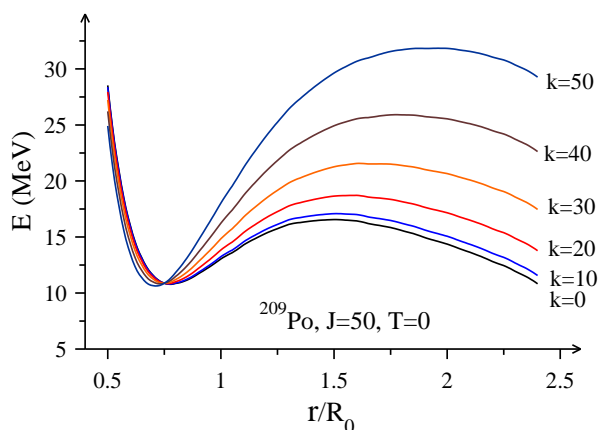
و با محاسبه تعداد متوسط نوترون های خروجی قبل از فرآیند شکافت و احتمال شکافت، و مقایسه نتایج با کارهای تجربی اطلاعاتی پیرامون چسبندگی ماده هسته ای هسته ^{210}Po بدست آوریم.

روش کار:

در قدم اول جهت شبیه سازی تحول شکافت هسته ^{210}Po در چارچوب مدل آماری اصلاح شده کرامرز ابتدا بایستی سد شکافت یا به تعبیر دیگر انرژی پتانسیل وابسته به تغییر شکل را تعیین نماییم. برای این منظور میتوان از مدل قطره ای استفاده نمود [1]. شایان ذکر است که مدل قطره ای اثرات دما را در برآورد سد شکافت در نظر نمی گیرد. به همین منظور از مدل اصلاح شده قطره مایع استفاده خواهیم نمود [2]. برای محاسبه سد شکافت می توان از رابطه زیر استفاده نمود

$$V(c,A,Z,J,K) = B_s(c)E_s^0(Z,A)(1-kT^2) + B_c(c)E_c^0(Z,A) + \frac{(J(J+1)-K^2)\hbar^2}{I_{\perp}(c)\frac{4}{5}MR_0^2 + 8Ma^2} + \frac{K^2\hbar^2}{I_{\parallel}(c)\frac{4}{5}MR_0^2 + 8Ma^2} \quad (1)$$

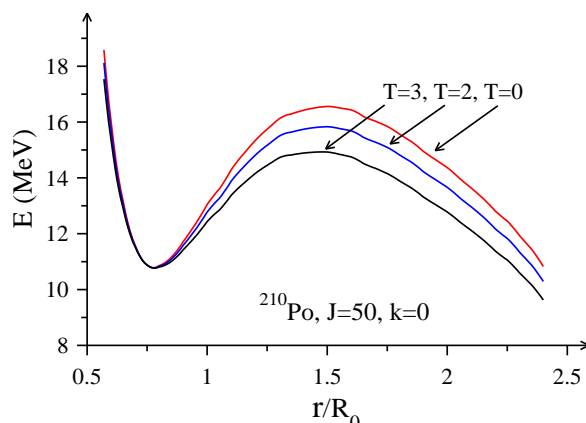
که جمله اول انرژی کشش سطحی، جمله دوم انرژی پتانسیل کولمبی و دو جمله آخر مربوط به انرژی دورانی هسته وابسته به پارامتر تغییر شکل $c = r/R_0$ می باشد، که r فاصله بین دو پاره شکافت و R_0 شعاع هسته در حالت کروی می باشد. T دمای هسته، k ضریب دما، J اسپین، K مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته، M جرم هسته و I_{\perp}, I_{\parallel} ممان اینرسی هسته نسبت به محورهای تقارن هسته می باشند. شایان ذکر می باشد که در محاسبات $\alpha = 0.016\text{MeV}$ ، $a = 0.6\text{fm}$ اتخاذ گردیده شدند [2]. در شکل ۱ نتایج محاسبات سد شکافت هسته ^{210}Po برای حالتی که $J = 50\hbar$ ، $T = 0\text{MeV}$ و $k = 0, 10, 20, 30, 40, 50\hbar$ می باشد ارائه گردیده شده است. از شکل ۱ کاملاً مشهود می باشد که مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته شدیداً روی برآورد سد شکافت تاثیر می گذارد و عدم در نظر گیری آن سبب وارد شدن خطا در محاسبات می گردد.





شکل ۱: سد شکافت هسته ^{210}Po بر حسب پارامتر تغییر شکل، با ازاء $J=50\hbar$ و $T=0\text{MeV}$ و $k=0,10,20,30,40,50\hbar$.

در شکل ۲ همچنین نتایج محاسبات سد شکافت هسته ^{210}Po بر حسب مقادیر $J=50\hbar$ و $k=0\hbar$ و مقادیر مختلف دما ارائه گردیده شده است.



شکل ۲: تغییرات سد شکافت هسته ^{210}Po بر حسب پارامتر تغییر شکل، به ازاء $J=50\hbar$ و $K=0\hbar$ و $T=0,2,3\text{MeV}$.

در قدم دوم شبیه سازی تحول شکافت، بایستی امکان خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا، تابش گاما و امکان شکافت را بررسی نماییم. که این کار را میتوان بر حسب محاسبه پهنای خروج ذرات و پهنای شکافت و استفاده از روش مونت کارلو انجام داد.

در چارچوب مدل بوهر- ویلر [3] پهنای واپاشی یک هسته که در حالت تعادل ترمودینامیکی می باشد را میتوان بر حسب رابطه زیر برآورد نمود

$$\Gamma = \frac{\hbar}{t} = \frac{N_{TS}}{2\pi\rho_{gs}} \quad (2)$$

که N_{TS} تعداد تراز های انتقال در نقطه زینی و ρ_{gs} چگالی حالت ها در چاه پتانسیل می باشد. چگالی حالت ها در نقطه زینی یا در چاه پتانسیل را می توان بر حسب مدل گاز فرمی به شکل زیر برآورد نمود

$$\rho(U) \propto \exp(2\sqrt{a(c)U}) \quad (3)$$



که $a(c)$ پارامتر چگالی تراز و U انرژی برانگیختگی هسته می باشد، که به شکل زیر تعریف می گردد

$$U(c) = a(c)T^2 \quad (4)$$

در این رابطه T دمای هسته می باشد.

جهت شبیه سازی احتمال خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا و گاما احتیاج به محاسبه پهنای خروج نوترون، پروتون و... در هر مرحله از محاسبات می باشد. در محاسبات، برای محاسبه پهنای خروج ذرات از مقاله [۴] و برای محاسبه پهنای خروج تابش گاما، از مقالات [۵،۶] استفاده گردیده شد. پهنای شکافت یک هسته را میتوان در چارچوب مدل بوهر- ویلر بر حسب رابطه زیر برآورد نمود

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\rho_{gs}(E)} \int_0^{E-B_f} \rho_{sp}(E-B_f-\varepsilon) d\varepsilon \quad (5)$$

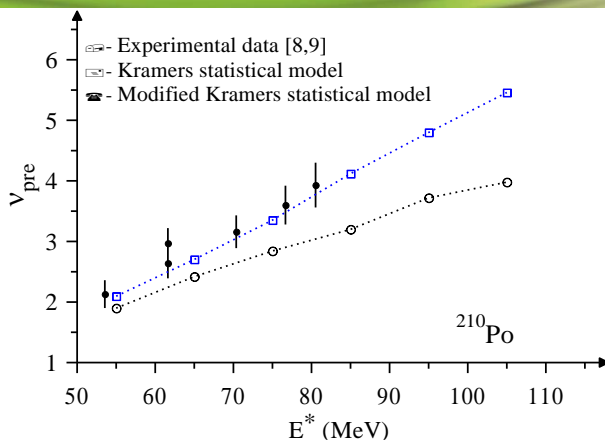
ρ_{sp} و ρ_{gs} معرف چگالی حالت ها در چاه پتانسیل و نقطه زینی می باشند. شایان ذکر می باشد که رابطه بوهر- ویلر، برای پهنای شکافت، اثر چسبندگی ماده هسته ای را در نظر نمی گیرد. اولین بار کرامرز [۷] رابطه بوهر- ویلر را به شکل زیر تصحیح نمود

$$\Gamma_f(k) = (\sqrt{I+\gamma^2} - \gamma) \times \Gamma_f^{BW} \quad (6)$$

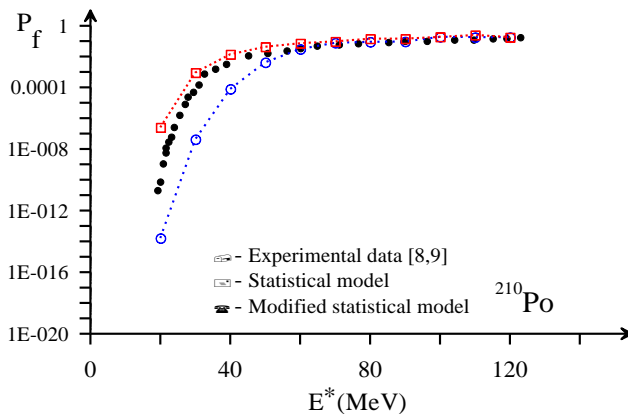
که $\gamma = \beta/2\omega_{sp}$ ضریب چسبندگی ماده هسته ای و ω_{sp} پارامتر معرف انحنا سد شکافت در نقطه زینی می باشد.

نتایج:

در شکل های ۳ و ۴ نتایج حاصل از محاسبات برای کثرت نوترونهای خروجی و احتمال شکافت برای هسته ^{210}Po ، در چارچوب مدل آماری کرامرز (مدل بوهر- ویلر با در نظر گیری اثر دما و چسبندگی ماده هسته ای در برآورد پهنای شکافت) و مدل آماری اصلاح شده کرامرز (که اثر دما و مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته را در بر آورد سد پتانسیل شکافت در نظر می گیرد) با داده های تجربی مقایسه گردیده شده است.

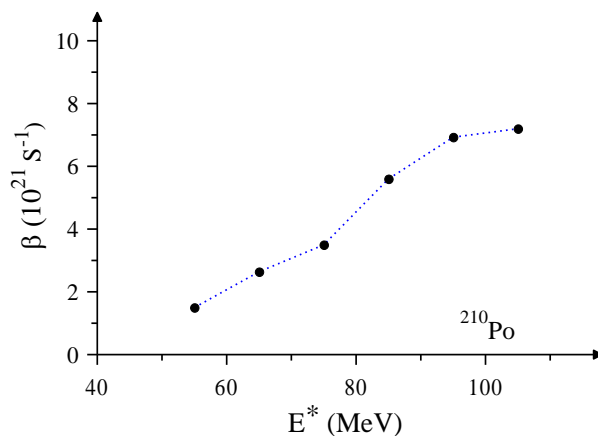


شکل ۳: تعداد متوسط نوترون های خروجی قبل از فرایند شکافت هسته ^{210}Po بر حسب انرژی برانگیختگی.



شکل ۴: احتمال شکافت هسته ^{210}Po وابسته به انرژی برانگیختگی.

شایان ذکر می باشد که پارامتر چسبندگی ماده هسته ای در محاسبات بعنوان یک پارامتر آزاد در نظر گرفته شد. در شکل ۵ مقادیر مناسب پارامتر β وابسته به انرژی برانگیختگی هسته ^{210}Po جهت باز تولید مقادیر تجربی کثرت نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت و احتمال شکافت ارائه گردیده شده است.



شکل ۵: ضریب چسبندگی هسته ^{210}Po بر حسب انرژی برانگیختگی.



بحث و نتیجه گیری:

تعداد متوسط نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت و احتمال شکافت هسته ^{210}Po وابسته به انرژی برانگیختگی در چارچوب مدل آماری کرامرز و مدل آماری اصلاح شده کرامرز محاسبه گردیده شد. و نشان داده شد که در نظر گیری اثر دما و اثر مولفه اسپین شدیداً روی نتایج محاسبات، تاثیر می گذارد. و همچنین مقدار مناسب پارامتر چسبندگی وابسته به انرژی برانگیختگی برای ماده هسته ای ^{210}Po تعیین گردیده شد.

مراجع:

- [۱] J.P. Leston; "Calculating fission rates at high spin: Incorporation of rotational degrees of freedom in thermodynamically fluctuating axially symmetric systems", No. ۳, Phys. Rev. C ۵۹, ۱۵۴۰ (۱۹۹۹).
- [۲] J.P. Lestone and S.G. McCalla; "Statistical model of heavy-ion fusion-fission reactions", Phys. Rev. C ۷۹, No. ۴, ۰۴۴۶۱۱ (۲۰۰۹).
- [۳] N. Bohr and J.A. Wheeler; "The mechanism of nuclear fission", phys. Rev. ۵۳, No. ۵, ۴۲۶ (۱۹۳۸).
- [۴] M. Blann; "Decay of deformed and super-deformed nuclei formed in heavy ion reactions", Phys. Rev. C ۲۱, No. ۵, ۱۷۷۰ (۱۹۸۰).
- [۵] J.R. Grover, J. Gilat; "De-Excitation of Highly Excited Nuclei", Phys. Rev. ۱۵۷, No. ۴, ۸۰۲ (۱۹۶۷).
- [۶] F.H. Ruddy et al.; "Formation and decay of the compound nucleus ^{78}Ge (II). Calculation; competition between gamma ray and particle emission", Nucl. Phys. A ۱۲۷, No. ۲, ۳۲۳ (۱۹۶۹).
- [۷] H. Kramers; "Brownian motion in a field of force and the diffusion model of chemical reactions", Physicca, ۷, No. ۴, ۲۸۴ (۱۹۴۰).
- [۸] L.G. Moretto et al.; "Influence of shells and pairing on the fission probabilities of nuclei below radium", Phys. Lett. B ۳۸, No. ۷, ۴۷۱ (۱۹۷۲).
- [۹] D.J. Hinde et al.; " Neutron multiplicities in heavy-ion-induced fission: Time scale of fusion-fission", Nucl. Phys. A ۴۵۲, No. ۳, ۵۵۰ (۱۹۸۶).