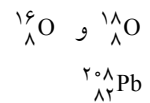
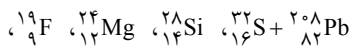




s.soheyli@basu.ac.ir :

(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۸/۲؛ دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۱/۴/۸)



$\alpha$



$\alpha_{BG}$

حال مدل‌های زیادی برای پیش بینی کمیت ناهمسانگردی زاویه ای پاره‌های شکافت ارائه شده است. یکی از این مدل‌ها که در پیش بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای بیشتر به کار می‌رود، مدل آماری نقطه زینی استاندارد است. پیش بینی این مدل برای بسیاری از فرآیندهای شکافت القایی با پرتابه‌های سبک و همچنین با پرتابه‌های یون سنگین در توافق خوبی با داده‌های تجربی است. به عبارتی برای چنین فرآیندهایی، ناهمسانگردی زاویه‌ای رفتار عادی دارد. بررسی‌های نظری نشان می‌دهد که در این سیستم‌ها، کلیه فرآیندهای شکافت منجر به تشکیل هسته

با وجود اینکه بیش از نیم قرن از کشف پدیده شکافت می‌گذرد، تا به حال سازوکار این فرآیند به طور کامل مشخص نشده است. توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت، منبع غنی از اطلاعات را در مورد چنین فرآیندی فراهم می‌کند. با توجه به داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت، مشخص شده است که این کمیت‌ها به عواملی مانند انرژی پرتابه، اندازه عدد اتمی و عدد جرمی، شکل، اسپین و ساختار پوسته‌ای هسته‌های پرتابه و هدف بستگی دارد [۱-۴]. تا به

برای همه پرتابه‌ها (برخلاف حضور فرآیند شبه شکافت که با پرتابه‌های  $A > 20$  است) محتمل است [۱]. تا کنون، معیار رفتار عادی و یا غیر عادی در ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت را از طریق مقایسه دو کمیت عدم تقارن جرمی ( $\alpha$ ) و عدم تقارن جرمی بحرانی بوزینارو-گالن ( $\alpha_{BG}$ ) پیش‌بینی می‌کردند. کمیت‌های  $\alpha$  و  $\alpha_{BG}$  به صورت زیر تعریف می‌شوند [۸]:

$$\alpha = \frac{A_T - A_P}{A_T + A_P}$$

$$\alpha_{BG} = \begin{cases} p \sqrt{\frac{\chi - \chi_{BG}}{(\chi - \chi_{BG}) + q}} & \chi > \chi_{BG} \\ 0 & \chi < \chi_{BG} \end{cases}$$

در این روابط  $\chi$  پارامتر شکافت‌پذیری ( $\chi = \frac{Z^2/A}{50/883\{1 - 1/7826[(N-Z)/A]\}}$ ) به ترتیب

اعداد جرمی هسته هدف و پرتابه و مقادیر  $q$  و  $\chi_{BG}$  به ترتیب  $1/12$ ،  $0/24$  و  $0/396$  است. تا چند سال اخیر فرض بر این بود که، هرگاه در یک سیستم واکنش شکافت القایی  $\alpha$  بزرگتر از  $\alpha_{BG}$  باشد، ناهمسانگردی توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت با پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد در توافق بوده و هرگاه در یک سیستم  $\alpha$  کوچکتر از  $\alpha_{BG}$  باشد، در آن صورت رفتار غیر عادی در ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت پیش‌بینی می‌شود [۱]. در بسیاری از واکنش‌های شکافت القایی اگر چه شرط  $\alpha > \alpha_{BG}$  برقرار است، ولی سهم شکافت غیر هسته مرکب نیز مشاهده شده است. برای نمونه می‌توان به واکنش شکافت القایی  $^{19}\text{F} + ^{197}\text{Au}$  اشاره نمود [۹]. از طرفی اگر چه برای بسیاری از سیستم‌های شکافت القایی شرط  $\alpha < \alpha_{BG}$  برقرار است، رفتار توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت عادی مشاهده شده است. برای نمونه می‌توان به واکنش شکافت القایی  $^{11}\text{B} + ^{243}\text{Am}$  اشاره نمود [۱۰]. بررسی‌ها نشان می‌دهند که برای شکافت‌های القایی با شرط  $\alpha < \alpha_{BG}$  و با هسته‌های هدف کروی و پرتابه‌هایی که هسته مرکب را با مقادیر بالایی از  $\frac{B_f}{T}$  تشکیل می‌دهند، برای

مرکب می‌شود. با این حال، برای برخی از سیستم‌های شکافت القایی با یون سنگین، مقادیر اندازه‌گیری شده ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت بیشتر از پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد می‌باشد، به عبارتی رفتار ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت غیر عادی است. علت این رفتار را به وجود سهمی از فرآیندهای شکافت نسبت می‌دهند که منجر به تشکیل هسته مرکب نمی‌شوند (شکافت هسته غیر مرکب) [۱].

شکافت هسته غیر مرکب شامل سه نوع ساز و کار مختلف می‌باشد:

**الف) شبه شکافت:** به طور تجربی مشخص شده است که قسمت مهمی از سطح مقطع کل شکافت در واکنش‌های شکافت القایی با یون‌های سنگین (در محدوده انرژی کمتر از  $10\text{MeV}$  به ازای هر نوکلئون پرتابه و برای پرتابه‌های با عدد جرمی بزرگتر از ۲۰) مربوط به فرآیند شبه شکافت می‌باشد [۵ و ۶]. فرآیند شبه شکافت را می‌توان فرآیندی بین برخورد غیر کشسان عمیق و جوش - شکافت در نظر گرفت که در آن مقداری از خاطره تشکیل هسته مرکب باقی می‌ماند. تفاوت اصلی فرآیندهای شکافت و شبه شکافت، در نحوه تشکیل هسته مرکب می‌باشد و چون این فرآیند شامل برخی از خصوصیات مکانیسم شکافت می‌باشد، آن را فرآیند شبه شکافت می‌نامیم.

**ب) شکافت سریع:** در این فرآیند به علت بالا بودن انرژی برانگیختگی و اندازه حرکت زاویه‌ای هسته مرکب، ارتفاع سد شکافت هسته مرکب بسیار ناچیز می‌باشد و در این صورت هسته مرکب فرصت رسیدن به تعادل در نقطه زینی را نخواهد داشت [۷].

**ج) شکافت پیش تعادلی:** شکافت پیش تعادلی وقتی به وقوع می‌پیوندد که ارتفاع سد شکافت با دمای سیستم مرکب قابل مقایسه باشد. این فرآیند زمانی رخ می‌دهد که هسته پرتابه با کناره هسته هدف تغییر شکل یافته برخورد کند. در حالت شکافت پیش تعادلی ممکن است خاطره کانال ورودی حفظ شود. این فرآیند حتی وقتی ارتفاع سد شکافت مخالف صفر (برخلاف شکافت سریع) باشد نیز اتفاق می‌افتد و وقوع آن

$$T = \sqrt{\frac{E_{c.m.} + Q - B_f - E_R - v_{pre} E_n}{a}} \quad (2)$$

در این رابطه  $E_{c.m.}$ ،  $Q$ ،  $B_f$ ،  $E_R$ ،  $E_n$ ،  $v_{pre}$  و  $a$  به ترتیب انرژی پرتابه در چارچوب مرکز جرم، مقدار  $Q$  واکنش، ارتفاع سد شکافت هسته مرکب، انرژی چرخشی هسته مرکب، کاهش انرژی برانگیختگی هسته مرکب بر اثر گسیل هر نوترون، تعداد نوترون‌های گسیلی قبل از رسیدن هسته مرکب به نقطه زینی و پارامتر چگالی تراز هستند.

در این مقاله، کمیت مربع اندازه حرکت زاویه‌ای، از اندازه‌گیری‌های دیگران گرفته شده است [۵ و ۱۵]. همچنین  $I_{eff}$  با استفاده از مدل قطره مایعی چرخشی (RLDM) محاسبه شده است. برای محاسبه  $I_{eff}$  از مدل سیرک نیز می‌توان استفاده نمود. باید در نظر داشت که مقادیر  $I_{eff}$  محاسبه شده با استفاده از مدل سیرک بیشتر از مقادیری است که از طریق مدل قطره مایعی چرخشی به دست می‌آید. برای محاسبه  $B_f$  و  $E_R$  از مدل RLDM استفاده شده است. در اکثر محاسبات توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت، پارامتر چگالی تراز  $a$  در گستره  $\frac{A}{8}$  تا  $\frac{A}{10}$  در نظر گرفته می‌شود که در آن  $A$  عدد جرمی هسته مرکب است [۱]. در این مقاله، پارامتر چگالی تراز را  $\frac{A}{8}$  انتخاب نمودیم. با انتخاب یک طیف تبخیری برای توزیع انرژی نوترون، کاهش انرژی برانگیختگی هسته مرکب به ازای هر نوترون گسیلی از رابطه  $E_n = B_n + 2T$  به دست می‌آید ( $B_n$  انرژی بستگی نوترون در هسته مرکب، و  $2T$  متوسط انرژی جنبشی نوترون گسیلی است). برای تعیین تعداد نوترون‌های گسیلی قبل از رسیدن هسته مرکب به نقطه زینی از اندازه‌گیری‌های تجربی دیگران استفاده شده است [۱۶-۱۸].

در شکل‌های ۱ تا ۳، پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد همراه با مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم‌های شکافت القایی  $^{208}\text{Pb} + ^{32}\text{S}$ ،  $^{24}\text{Si}$  و  $^{24}\text{Mg}$  نشان داده شده است. فرآیند

انرژی‌های نزدیک سد کولنی سهمی از شکافت هسته غیر مرکب وجود ندارد [۱۱ و ۱۲]. برای مثال می‌توان به سیستم شکافت القایی  $^{209}\text{Bi} + ^{19}\text{F}$  اشاره نمود که دارای مقدار  $\alpha$  کوچکتر از  $\alpha_{BG}$  می‌باشد، ولی رفتار ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت عادی است [۱۱].

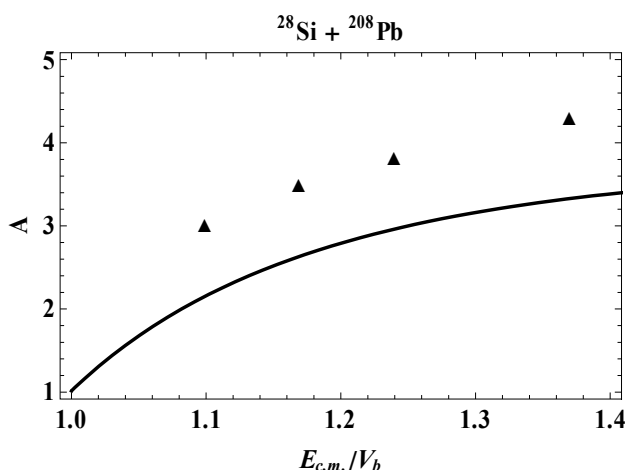
در این مقاله، برای اولین بار از طریق مدل آماری نقطه زینی استاندارد، سهم شکافت هسته غیر مرکب برای چندین سیستم شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  به دست آمده است و چگونگی وابستگی سهم شکافت هسته غیر مرکب را بر حسب عدد جرمی پرتابه بررسی کرده‌ایم. با به دست آوردن کمترین عدد جرمی از هسته پرتابه، که بعد از برخورد با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  در انرژی‌های نزدیک سد کولنی، سهم شکافت هسته غیر مرکب مشاهده می‌شود، توانستیم شرط مقایسه  $\alpha$  و  $\alpha_{BG}$  را در پیش‌بینی سهم شکافت هسته غیر مرکب و برای هسته‌های هدف کروی  $^{208}\text{Pb}$  و سنگین‌تر از آن تصحیح کنیم.

نسبت توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت در زاویه  $0^\circ$  یا  $180^\circ$  درجه بر توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت در زاویه  $90^\circ$  درجه را ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت تعریف می‌کنیم. برای محاسبه کمیت ناهمسانگردی پاره‌های شکافت از طریق مدل آماری نقطه زینی استاندارد، فرض می‌شود که راستای پاره‌های شکافت به نحوه قرار گرفتن هسته مرکب در نقطه زینی بستگی دارد. مطابق با این مدل، کمیت ناهمسانگردی پاره‌های شکافت با رابطه زیر پیش‌بینی می‌شود:

$$A \approx 1 + \frac{\langle I^2 \rangle \hbar^2}{4 I_{eff} T} \quad (1)$$

در این رابطه  $\langle I^2 \rangle$ ،  $I_{eff}$  و  $T$  به ترتیب مربع اندازه حرکت زاویه‌ای، گشتاور لختی موثر و دمای هسته مرکب در نقطه زینی هستند. مقدار  $\langle I^2 \rangle$  را از طریق مدل‌های متفاوت نظیر مدل ونگ، مدل کانال‌های جفت شده و... محاسبه می‌کنند [۱۳ و ۱۴]. دمای هسته مرکب در نقطه زینی  $T$  از رابطه زیر قابل

محاسبه است

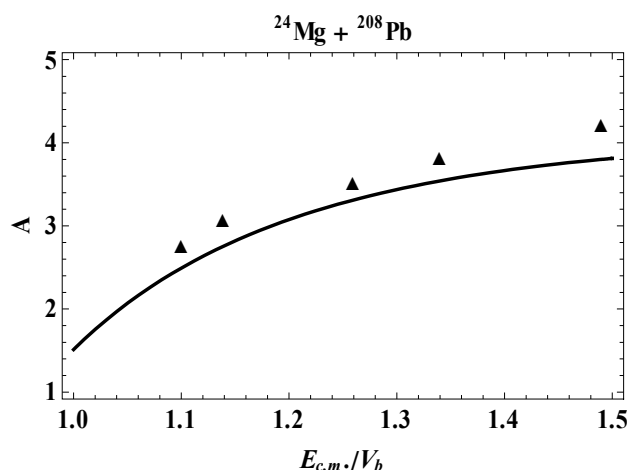


شکل ۲. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{28}\text{Si} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{236}\text{Cm}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$ . منحنی، پیش‌بینی ناهمسانگردی پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.

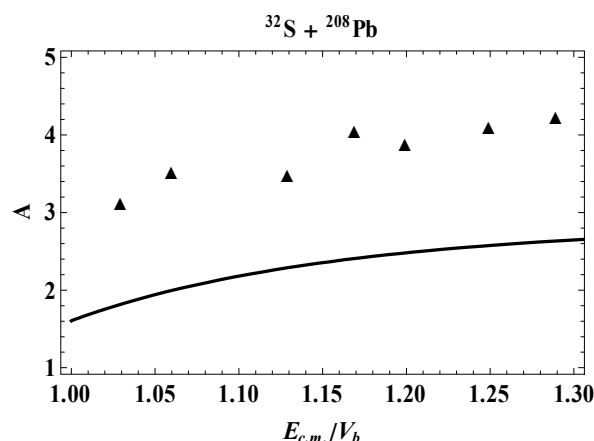
هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  در گستره یکسان  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$ ، سهم شکافت هسته غیر مرکب افزایش می‌یابد. از نقطه نظر تجربی با افزایش عدد جرمی پرتابه برای هسته‌های هدف سنگین، هسته مرکب تشکیل شده ارتفاع سد شکافت کمتری خواهد داشت و فرصت کافی برای رسیدن به حالت تعادل در نقطه زینی را به دست نمی‌آورد و در نتیجه احتمال شکافت هسته غیر مرکب افزایش پیدا می‌کند [۱]. محاسبه سهم شکافت هسته غیر مرکب به روش تجربی بسیار پیچیده است. با روش مقایسه پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد و داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌های سهم میانگین شکافت هسته غیر مرکب برای سه سیستم شکافت القایی هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  با پرتابه‌های مختلف به دست آمده است. اگر سهم ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت ناشی از شکافت هسته غیر مرکب را با  $A_{NCN}$  نشان دهیم، در این صورت خواهیم داشت:

$$A_{NCN} = \frac{A_{\text{exp.}} - A_{\text{th.}}}{A_{\text{exp.}}} \quad (3)$$

در این رابطه،  $A_{\text{exp.}}$  داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت تجربی، و  $A_{\text{th.}}$  پیش‌بینی مدل آماری نقطه



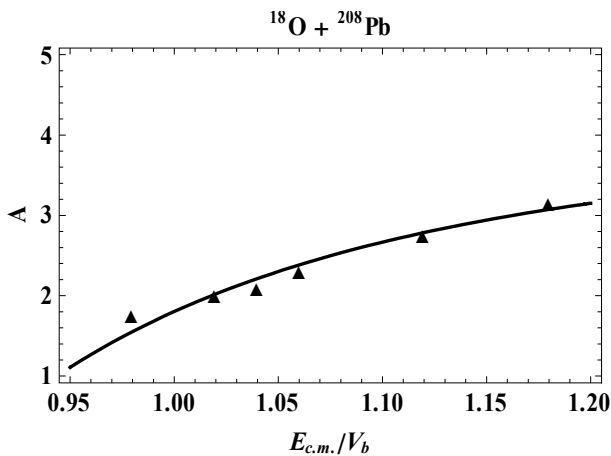
شکل ۱. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{24}\text{Mg} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{232}\text{Pu}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$ . منحنی، پیش‌بینی ناهمسانگردی پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.



شکل ۳. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{32}\text{S} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{240}\text{Cf}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$ . منحنی پیش‌بینی ناهمسانگردی پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط هم، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.

شکافت هسته غیر مرکب، زمانی اتفاق می‌افتد که هسته تشکیل شده از برخورد پرتابه با هدف در نقطه زینی به حالت تعادل نرسد [۱۰]. در این شکل‌ها، سهم شکافت هسته غیر مرکب را برای این سیستم‌ها نیز مشاهده می‌کنیم.

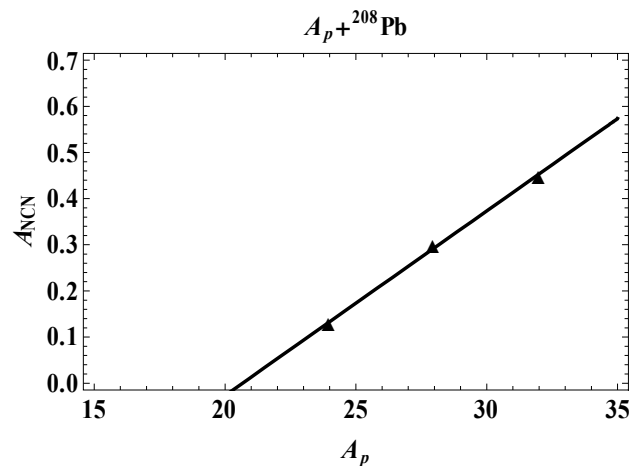
مشاهده می‌شود که با افزایش عدد جرمی پرتابه و برای



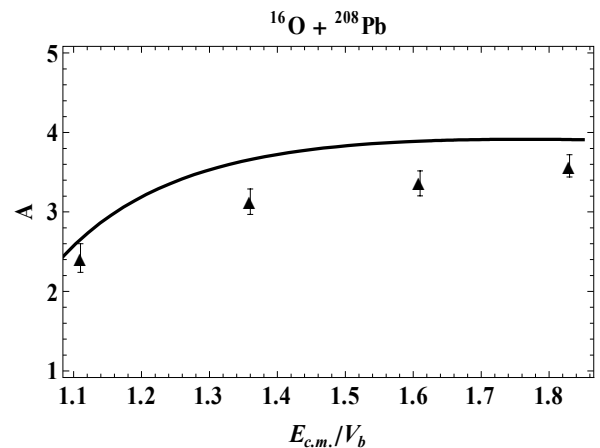
شکل ۶. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{18}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$  منحنی، پیش‌بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.

هسته غیر مرکب برای سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  و پرتابه‌های با عدد جرمی بزرگتر از ۲۰ ظاهر گردد و با افزایش عدد جرمی پرتابه این سهم بیشتر شود. همچنین پیش‌بینی می‌شود که برای پرتابه‌هایی با عدد جرمی کوچکتر از ۲۰ مانند  $^{16}\text{O}$ ،  $^{18}\text{O}$  و  $^{19}\text{F}$  مقدار این سهم صفر باشد. باید دقت داشت که نتیجه به دست آمده در گستره انرژی مورد بررسی صادق است و در انرژی‌های دیگر هیچ‌گونه اظهار نظری نمی‌توان داشت (زیرا ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت علاوه بر وابستگی به اندازه و عدد جرمی پرتابه‌ها، با انرژی پرتابه‌ها در گستره بالای ارتفاع سد کولنی رابطه مستقیم دارد). به عنوان مثال برای سیستم شکافت القایی  $^{20}\text{Ne} + ^{208}\text{Pb}$ ، انتظار سهم شکافت غیر مرکب را نداریم در صورتی که ناهمسانگردی پاره‌های شکافت اندازه‌گیری شده در انرژی  $\frac{E_{c.m.}}{V_b} = 2/5$  مقدار قابل توجهی از شکافت هسته غیر مرکب را نشان می‌دهد.

شکل‌های ۵ تا ۷، پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد و داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت را برای سیستم‌های شکافت القایی  $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ ،  $^{18}\text{O}$  و  $^{19}\text{F}$  نشان می‌دهند.



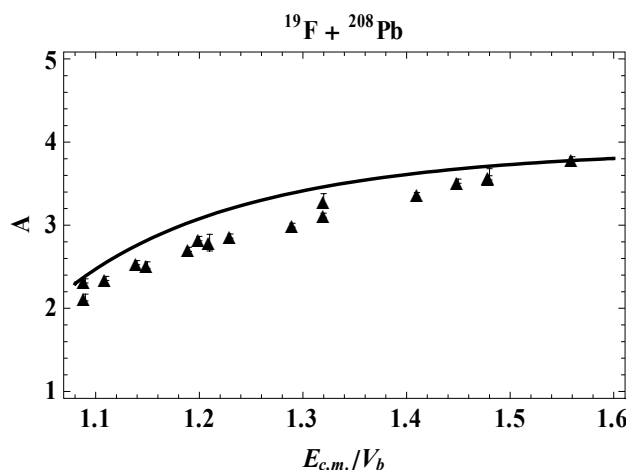
شکل ۴. نمودار سهم متوسط شکافت هسته غیر مرکب بر حسب عدد جرمی پرتابه‌های متفاوت برای هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$ . عدد جرمی پرتابه است.



شکل ۵. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$  منحنی، پیش‌بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.

زینی استاندارد است. در شکل ۴، سهم متوسط شکافت هسته غیر مرکب برای سه سیستم شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  توسط پرتابه‌های با عدد جرمی مختلف در گستره  $\frac{E_{c.m.}}{V_b} < 1/35 < 0.95$  نشان داده شده است.

مطابق با نتیجه به دست آمده انتظار می‌رود که سهم شکافت



شکل ۷. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{227}\text{Pa}$  بر حسب  $\frac{E_{c.m.}}{V_b}$ . منحنی، پیش‌بینی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت را با استفاده از مدل آماری نقطه‌زینی استاندارد نشان می‌دهد. نقاط، اندازه‌گیری‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای را نشان می‌دهند [۵]. کمیت  $V_b$ ، ارتفاع سد کولنی است.

جدول ۱. مقایسه  $\alpha$ ،  $\alpha_{BG}$  و  $\frac{\alpha}{\alpha_{BG}}$  برای سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  و پرتابه‌های مختلف.

هسته پرتابه	$\alpha$	$\alpha_{BG}$	$\frac{\alpha}{\alpha_{BG}}$
$^{20}_{10}\text{Ne}$	۰/۸۲۵	۰/۸۷۹	۰/۹۳۹
$^{19}_9\text{F}$	۰/۸۳۳	۰/۸۷۴	۰/۹۵۳
$^{18}_8\text{O}$	۰/۸۴۱	۰/۸۶۹	۰/۹۶۸
$^{16}_8\text{O}$	۰/۸۵۷	۰/۸۷۱	۰/۹۸۴

و پرتابه‌های با اعداد جرمی کوچکتر از ۲۰ را که در این سیستم‌ها سهمی از شکافت هسته غیر مرکب وجود ندارد در جدول ۱ آورده شده است.

مطابق با جدول بالا، هر قدر عدد جرمی پرتابه کوچکتر شود نسبت  $\frac{\alpha}{\alpha_{BG}}$  بزرگتر می‌شود. چون این سیستم‌ها هم‌خوان با مدل آماری نقطه‌زینی استاندارد می‌باشند، انتظار داریم که برای سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  و  $\alpha < ۰/۹۳۹\alpha_{BG}$ ، همواره سهم شکافت هسته غیر مرکب وجود داشته باشد و برای سیستم‌هایی شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  و دارای  $\alpha > ۰/۹۳۹\alpha_{BG}$ ، فقط سهم شکافت هسته مرکب وجود داشته و رفتار ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت یک رفتار عادی باشد. تجربه نشان می‌دهد که با

همان طوری که انتظار داریم، مشاهده می‌شود که هیچ سهمی از شکافت هسته غیر مرکب برای این سیستم‌ها وجود ندارد. زیرا عدد جرمی پرتابه‌ها کوچکتر از ۲۰ است. باید دانست که برای سیستم‌های شکافت القایی  $^{19}\text{F} + ^{208}\text{Pb}$ ،  $^{16}\text{O}$  و  $^{18}\text{O}$ ،  $\alpha < \alpha_{BG}$  بوده و با توجه به این شرط، انتظار سهم شکافت هسته غیر مرکب را داشتیم. بنابراین شرط مقایسه  $\alpha$  و  $\alpha_{BG}$  نمی‌تواند وجود یا عدم وجود سهم شکافت هسته غیر مرکب را برای سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$  پیش‌بینی کند. علت عدم مشاهده سهم شکافت هسته غیر مرکب در این سیستم‌ها به کروی بودن هسته هدف مربوط می‌شود [۱ و ۱۱]. مقادیر  $\alpha$ ،  $\alpha_{BG}$  و همچنین نسبت این دو کمیت برای سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}\text{Pb}$

۳. رفتار سهم متوسط شکافت هسته غیر مرکب با عدد جرمی پرتابه‌های متفاوت کاملاً خطی به دست آمد. مطابق با رابطه بین سهم متوسط شکافت هسته غیر مرکب بر حسب عدد جرمی پرتابه در واکنش‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}_{82}\text{Pb}$  پیش‌بینی شد که برای شکافت القایی توسط پرتابه‌هایی با عدد جرمی کوچکتر از ۲۰، سهم شکافت هسته غیر مرکب وجود ندارد و این سهم برای پرتابه‌های با عدد جرمی بزرگتر از ۲۰ از رابطه  $A_{NCN} = 0.040 A_p^{-0.810}$  قابل پیش‌بینی است.

۴. با بررسی سیستماتیک توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت روی هسته هدف  $^{208}_{82}\text{Pb}$ ، تصحیح مناسبی بر روی شرط مقایسه‌ای  $\alpha$  و  $\alpha_{BG}$  برای سیستم‌های شکافت القایی با هدف‌های  $^{208}_{82}\text{Pb}$  و سنگین‌تر از آن برای پیش‌بینی سهم شکافت هسته غیر مرکب صورت گرفت. بررسی کار دیگران نشان می‌دهد که برای سیستم شکافت القایی با  $\alpha > 0.939\alpha_{BG}$  و برای هسته هدف  $^{208}_{82}\text{Pb}$  و هسته‌های سنگین‌تر از آن سهم شکافت هسته غیر مرکب وجود ندارد.

۵. خطایی که به دلیل انتخاب پارامتر چگالی تراز در گستره  $\frac{A}{10}$  تا  $\frac{A}{8}$  در محاسبات سهم میانگین شکافت هسته غیر مرکب وارد می‌شود، کمتر از پنج درصد است.

افزایش عدد جرمی هسته هدف و شکافت‌های القایی با پرتابه‌های یکسان، سهم شکافت هسته غیر مرکب افزایش پیدا می‌کند. بنابراین انتظار می‌رود که با شرط  $\alpha > 0.939\alpha_{BG}$  برای سیستم‌های با هدف‌های سنگین‌تر از  $^{208}_{82}\text{Pb}$  نیز سهم شکافت هسته غیر مرکب وجود داشته باشد ولی برای این سیستم‌ها با شرط  $\alpha > \alpha_{BG}$  نمی‌توانیم وجود یا عدم وجود سهم شکافت هسته غیر مرکب را مشخص کنیم.

۱. از مقایسه پیش‌بینی مدل آماری نقطه زینی استاندارد با داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت نشان داده شد که با افزایش عدد جرمی پرتابه و در نتیجه با کاهش ارتفاع سد شکافت در سیستم‌های شکافت القایی با هسته هدف  $^{208}_{82}\text{Pb}$ ، مقدار سهم شکافت هسته غیر مرکب به علت افزایش سهم فرآیند شبه شکافت افزایش می‌یابد.

۲. پیش‌بینی گشتاور لختی موثر از طریق مدل قطره مایعی چرخشی در مقایسه با مقادیری که از مدل سیرک به دست می‌آید، کمتر است. بنابراین نتایج به دست آمده با استفاده از مدل قطره مایعی چرخشی، حداقل سهم شکافت هسته غیر مرکب را در سیستم‌های مختلف نشان می‌دهند.

Dasgupta, A Godley, and J O Newton, *Phys. Lett. B* **481** (2000) 160.

8. A Saxena, A Chatterjee, R K Choudhury, S S Kapoor, and D M Nadkarni, *Phys. Rev. C* **49** (1994) 932.

9. R Tripathi, K Sudarshan, S Sodaye, A V R Reddy, K Mahata, and A Goswami, *Phys. Rev. C* **71** (2005) 044616.

10. R Tripathi, K Sudarshan, S Sodaye, S K Sharma, and A V R Reddy, *Phys. Rev. C* **75** (2007) 024609.

11. A M Samant, S Kailas, A Chatterjee, A Shrivastava, A Navin, and P Singh, *Eur. Phys. J. A* **7** (2000) 59.

12. S Appannababu, S Mukherjee, N L Singh, P K Rath, G Kiran Kumar, R G Thomas, S Santra, B K Nayak, A Saxena, R K Choudhury, K S Golda, A Jhingan, R Kumar, P Sugathan, and H Singh, *Phys. Rev. C* **80** (2009) 024603.

13. R Vandenbosch, *Ann. Rev. Nucl. Part. Sci.* **42** (1992) 447.

1. S Kailas, *Phys. Rep.* **284** (1997) 381.

2. J P Lestone, A A Sonzogni, M P Kelly, and R Vandenbosch, *Phys. Rev. C* **56** (1997) 2907.

3. R Vandenbosch, J D Bierman, J P Lestone, J F Liang, D J Prindle, A A Sonzogni, S Kailas, D M Nadkarni, and S S Kapoor, *Phys. Rev. C* **54** (1996) R977.

4. A Shrivastava, S Kailas, A Chatterjee, A M Samant, A Navin, P Singh, and B S Tomar, *Phys. Rev. Lett.* **82** (1999) 699.

5. B B Back, R R Betts, J E Gindler, B D Wilkins, S Saini, M B Tsang, C K Gelbke, W G Lynch, M A McMahan, and P A Baisden, *Phys. Rev. C* **32** (1985) 195.

6. B B Back, R R Betts, K Cassidy, B G Glagola, J E Gindler, L E Glendenin, and B D Wilkins, *Phys. Rev. Lett.* **50** (1983) 818.

7. C R Morton, D J Hinde, A C Berriman, R D Butt, M

17. A Saxena, A Chatterjee, R K Choudhury, S S Kapoor, and D M Nadkarni, *Phys. Rev. C* **49** (1994) 932.
18. D O Eremenko, A V Dermenev, V A Drozdov, S Yu Platonov, O V Fotina, M H Eslamizadeh, and O A Yuminov, *Physics of Atomic Nuclei* **69** (2006) 1423; *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, **71**, 3 (2007) 393.
14. S Soheyli and M Khamehchi, *Phys. Rev. C* **82** (2010) 014605.
15. A Ya Rusanov, G D Adeev, M G Itkis, A V Karpov, P N Nadtochy, V V Pashkevich, I V Pokrovsky, V S Salamatin, and G G Chubarian, *Nucl. Experiment* **70** (2007) 1724.
16. A Karnik, S Kailas, A Chatterjee, A Navin, A Shrivastava, P Singh, and M S Samant, *Phys. Rev. C* **52** (1995) 3189.