



دانشگاه کاشان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک هسته‌ای

عنوان:

مطالعه بر روی چگالی تراز هسته‌ای  $^{71}\text{Ge}$

استاد راهنما:

آقای دکتر مهدی نصری نصرآبادی

به وسیله:

سید حسین امامی

بهمن ۱۳۸۸

## تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خداوندی را که علم و دانش به آدمی عطا فرمود و او را اشرف موجودات قرار داد. سلام و درود خدا بر رسول گرامی اسلام و اولاد طاهرینش که ابواب علم را بر جهانیان گشودند .

قبل از هر چیز بر خود لازم می دانم که از زحمات و راهنمایی های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر مهدی نصر نصرآبادی به عنوان استاد راهنمای خویش قدردانی و تشکر فراوان نمایم .

همچنین مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را به محضر اساتید بزرگوار، جناب آقای دکتر منعم زاده به عنوان استاد داور داخل دانشگاه، جناب آقای دکتر تیموری به عنوان استاد داور خارج دانشگاه و جناب آقای دکتر رسا به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی تقدیم نموده، سلامتی و موفقیت همه آنان را از خداوند متعال مسئلت می نمایم.

## چکیده:

چگالی تراز هسته ای نقش بزرگی در محاسبات آماری در فیزیک راکتور، محاسبات مدل هسته ای، آستروفیزیک و ... ایفا می کند. از آنجا که هسته سیستمی بس ذره ای است، برای توصیف رفتار آن و محاسبه خصوصیات از قبیل آنتروپی، ظرفیت گرمایی و احتمال گذار، نیازمند مفاهیم آماری هستیم. چگالی تراز هسته ای ( $NLD$ )<sup>۱</sup> کلید دستیابی به این مفاهیم آماری است. کارهای اولیه در این زمینه توسط بت ( $Bethe$ ) بیش از شصت سال پیش انجام شد. سپس دانشمندان دیگر به تکمیل و تصحیح آن پرداختند. بت با استفاده از مدل گاز فرمی ( $FGM$ )<sup>۲</sup>، فرمولی برای چگالی تراز هسته ای وابسته به انرژی ارائه نمود.

تصحیحات بعدی فرمول چگالی تراز هسته ای، انرژی جفت شدگی، برهم کنش چهار قطبی- چهار قطبی و ... را نیز دربرگرفت. در سال های اخیر نیز تلاش های بسیاری برای محاسبه دقیق چگالی تراز هسته ای انجام گرفته است که منجر به ارائه برخی مدل ها و تقریب های متعددی در رابطه با سیستم های بس ذره ای شده است.

یکی از عناصری که چگالی ترازهای هسته ای آن مورد مطالعه و محاسبه قرار گرفته است، ژرمانیوم می باشد. ژرمانیوم کاربردهای فراوانی در زمینه های مختلف مانند آشکارسازهای هسته ای، الکترونیک، طیف نماهای مادون قرمز و شبکه های فیبر نوری دارد.

در این تحقیق اولاً مبانی نظری چگالی تراز هسته ای، مدل های وابسته به آن و بستگی های مختلف چگالی تراز و ثانیاً پارامترهای بکار رفته در فرمول اصلاح شده بت و توافق خوب این فرمول با نتایج تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. سپس با مبنا قرار

---

۱- Nuclear Level Density

۲-Fermi Gas Model

دادن فرمول اصلاح شده بت، مقادیر مختلفی جهت پارامترچگالی تراز هسته ای ژرمانیوم و انرژی تصحیحی (انرژی زوجیت، تاثیرات پوسته ای و...) پیشنهاد و چگالی تراز هسته ای ژرمانیوم محاسبه شده است.

( بدلیل تحلیلی نبودن انتگرال ها، از روشهای مختلف عددی مانند سیمپسون و نرم افزارهای *Maple* و *Mathematica* برای محاسبات استفاده شده است.)

در پایان از مقایسه نتایج بدست آمده با مقادیر تجربی بهترین مقدار برای پارامترچگالی تراز هسته ای ژرمانیوم و انرژی تصحیحی ارائه گردیده است.

اضافه براین، محاسبات تحلیلی و نتیجه گیری برای پارامترهای فرمول دمای ثابت نیز انجام گرفته است.

کلید واژه ها:

چگالی تراز هسته ای، چگالی حالت، مدل گاز فرمی، پارامتر چگالی تراز، انرژی تصحیح پوسته ای،

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول : بررسی روش های محاسبه چگالی ترازهای هسته ای
۲	۱-۱) تاریخچه .....
۱۰	۲-۱) مبانی تئوری .....
۱۵	۳-۱) بستگی های مختلف چگالی تراز هسته ای .....
۱۵	۱-۳-۱) وابستگی به انرژی .....
۱۶	۲-۳-۱) وابستگی به عدد نوترونی .....
۲۳	۳-۳-۱) وابستگی به عدد پروتونی .....
۳۲	۴-۳-۱) وابستگی به اسپین .....
۳۶	۵-۳-۱) وابستگی به آیزوسپین .....
۳۹	۴-۱) ارائه مدلها برای محاسبه (NLD) .....
۳۹	۱-۴-۱) مدل گاز فرمی <i>FGM</i> .....
۴۴	۲-۴-۱) مدل هم فاصله <i>EDM</i> .....
۶۵	۳-۴-۱) مدل <i>BCS</i> .....
۷۱	۴-۴-۱) مدل انتگرال مسیر <i>PIM</i> .....

عنوان

صفحه

فصل دوم : فرمول بت

۸۰	۱-۲) پرداختن به پارامترهای موجود در فرمول بت .....
۸۰	۱-۱-۲) محاسبه پارامترچگالی تراز هسته به صورت تابعی از دما
	۲-۱-۲) محاسبه پارامتر چگالی تراز به صورت تابعی از عدد جرمی با
۱۰۳	..... <i>AMTF</i>
	۳-۱-۲) محاسبه پارامترچگالی تراز به صورت تابعی از عدد جرمی به
۱۱۷	..... روش نیمه کلاسیک
۱۲۲	..... ۴-۱-۲) بررسی فرمولهای حاکم بر ( <i>NLDP</i> )
۱۲۶	..... ۲-۲) بررسی توافق بین فرمول بت با نتایج تجربی
۱۳۳	..... ۳-۲) ارائه روشی مناسب برای پیشبرد محاسبات

فصل سوم : محاسبه چگالی ترازهای هسته ای  $^{71}\text{Ge}$

۱۳۵	۱-۳) لزوم پرداختن به عنصر <i>Ge</i> .....
۱۳۸	..... ۲-۳) محاسبه چگالی ترازهای هسته ای $^{71}\text{Ge}$

- ۳-۳) مقایسهٔ نتایج حاصل از محاسبه با داده های تجربی ..... ۱۴۹
- ۳-۴) جمع بندی و نتیجه گیری ..... ۱۶۰
- فهرست منابع ..... ۱۶۳

## فهرست شکل ها و نمودارها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) همانگونه که ملاحظه می شود، با توجه به متناظر بودن این پیک ها با ترازهای انرژی هسته در ناحیه انرژی برانگیزش پایین ، ترازهای انرژی کم بوده و به خوبی از هم تفکیک شده اند و در ناحیه انرژی برانگیزش بالا ، با ترازهای انرژی بسیار زیاد که غیر قابل تفکیک بوده و از نظر ساختار پیچیده اند، روبرو هستیم. .... ۴	۴
شکل (۲-۱) در این شکل افزایش تصاعدی حالات، نسبت به افزایش انرژی برانگیزش قابل مشاهده است. .... ۵	۵
شکل (۳-۱) در این شکل ترازهای برانگیخته هسته و انادیوم $^{90}_{39}Y$ نشان داده شده است. ۶ شکل (۱-۳-۱-۲) این شکل طرح فرض شده برای محاسبه پیچیدگی ساختار هسته (K) با روش نیمه کلاسیک در محاسبه پارامتر چگالی تراز است. .... ۱۱۹	۶
شکل (۱-۲-۲) در این شکل توافق خوب بین مقادیر تجربی و محاسبه ای چگالی تراز را برای هسته $^{96}Mo$ مشاهده می کنیم. .... ۱۲۶	۱۱۹
شکل (۳و۲-۲-۲) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی و محاسبه ای $N(E)$ برای هسته های $^{44}Ca$ و $^{48}Ti$ دیده می شود. .... ۱۲۷	۱۲۶
شکل (۵و۴-۲-۲) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی چگالی تراز و مقادیر محاسبه شده توسط فرمول بت برای هسته های $^{40}Cr$ و $^{40}Ti$ دیده می شود. .... ۱۲۸	۱۲۷
شکل (۷و۶-۲-۲) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی چگالی تراز و مقادیر محاسبه شده توسط فرمول بت برای هسته های $^{40}Ca$ و $^{40}Ar$ دیده می شود. .... ۱۲۹	۱۲۸



عنوان	صفحه
شکل (۲-۲-۸و۹) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی چگالی تراز و مقادیر محاسبه شده توسط فرمول بت برای هسته های $^{40}S$ و $^{40}Mg$ دیده می شود. ....	۱۳۰
شکل (۲-۲-۱۰ و ۱۱) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی و محاسبه ای $N(E)$ برای هسته های $^{22}Na$ و $^{161}Dy$ دیده می شود. ....	۱۳۱
شکل (۲-۲-۱۲ و ۱۳) در این دو شکل توافق بین مقادیر تجربی و محاسبه ای $N(E)$ برای هسته های $^{41}Ca$ و $^{36}Cl$ دیده می شود. ....	۱۳۲
نمودار (۳-۲-۱) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ رسم شده است.	۱۴۶
نمودار (۳-۲-۲) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=4.86, E_1=-2.672$ رسم شده است.	۱۴۶
نمودار (۳-۲-۳) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=5.05, E_1=-2.445$ رسم شده است.	۱۴۷
نمودار (۳-۲-۴) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=5.05, E_1=-2.465$ رسم شده است.	۱۴۷
نمودار (۳-۲-۵) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=5.12, E_1=-2.415$ رسم شده است.	۱۴۸
نمودار (۳-۲-۶) نمودار $N(E)$ بر اساس $a=5.38, E_1=-2.196$ رسم شده است.	۱۴۸
نمودار (۳-۲-۱) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی رسم شده است. ....	۱۴۹
نمودار (۳-۲-۲) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ رسم شده است. ....	۱۴۹
نمودار (۳-۲-۳) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار $N(E)$ بر اساس $a=4.86, E_1=-2.672$ رسم شده است. ....	۱۵۰

عنوان	صفحه
نمودار (۳-۳-۴) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $a=5.05$ , $E_1=-2.445$ رسم شده است. ....	۱۵۱
نمودار (۳-۳-۵) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $a=5.05$ , $E_1=-2.465$ رسم شده است. ....	۱۵۱
نمودار (۳-۳-۶) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $a=5.12$ , $E_1=-2.415$ رسم شده است. ....	۱۵۲
نمودار (۳-۳-۷) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $a=5.38$ , $E_1=-2.196$ رسم شده است. ....	۱۵۲
نمودار (۳-۳-۸) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی به همراه	
نمودارهای دیگر بر اساس $a$ های مختلف جهت مقایسه رسم شده است. ....	۱۵۳
نمودار (۳-۳-۹) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $T=1.671$ , $E_0=-4.2911$ رسم شده است. ....	۱۵۵
نمودار (۳-۳-۱۰) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $T=1.673$ , $E_0=-4.2865$ رسم شده است. ....	۱۵۵
نمودار (۳-۳-۱۱) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $T=1.675$ , $E_0=-4.2939$ رسم شده است. ....	۱۵۶
نمودار (۳-۳-۱۲) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار	
$N(E)$ بر اساس $T=1.679$ , $E_0=-4.3103$ رسم شده است. ....	۱۵۶

صفحه	عنوان
	نمودار (۳-۳-۱۳) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار
۱۵۷	$N(E)$ بر اساس $T=1.681$ , $E_0=-4.3191$ رسم شده است. ....
	نمودار (۳-۳-۱۴) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار
۱۵۷	$N(E)$ بر اساس $T=1.681$ , $E_0=-4.3210$ رسم شده است. ....
	نمودار (۳-۳-۱۵) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی و نمودار
۱۵۸	$N(E)$ بر اساس $T=1.689$ , $E_0=-4.4134$ رسم شده است. ....
	نمودار (۳-۳-۱۶) نمودار هیستوگرام $N(E)$ بر اساس داده های تجربی به همراه
۱۵۸	نمودارهای دیگر بر اساس $T$ های مختلف جهت مقایسه رسم شده است. ....

## فهرست جدول ها

صفحه	عنوان
۱۱۲	جدول (۱-۲) مقادیر عددی انتگرال های $(I_m^n)$ .....
	جدول (۲-۲) اختلاف بین انرژی جداسازی نوترون هسته های ماژیک و هسته هایی
۱۲۰	با یک نوترون اضافه تر $(\Delta)$ .....
۱۲۲	جدول (۳-۲) مقادیر $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ و $\phi$ ناشی از تطبیق در رابطه (۱۱-۳-۱-۲)
۱۲۳	جدول (۴-۲) مقادیر $a_v, a_s, a_c$ و $\gamma_0$ ناشی از تطبیق در رابطه (۲-۴-۱-۲)
۱۴۲	جدول (۱-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۲	جدول (۲-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.86, E_1=-2.672$ .....
۱۴۳	جدول (۳-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۳	جدول (۴-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۴	جدول (۵-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۴	جدول (۶-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۵	جدول (۷-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۴۵	جدول (۸-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $a=4.76, E_1=-2.763$ .....
۱۵۴	جدول (۹-۳) محاسبه $N(E)$ بر اساس $T$ و $E_0$ های مختلف .....

# فصل اول

بررسی روش های محاسبه چگالی ترازهای هسته ای

## ۱-۱) تاریخچه

چگالی حالت هسته ای یکی از اولین مفاهیم فیزیک هسته ای است که کمی پس از اینکه ساختار هسته بطور استوار بنا نهاده شد، توسط بت معرفی گردید. این موضوع یکی از خصوصیات اساسی هسته و یکی از اجزای تئوری واکنشهای هسته ای است. چگالی حالت هسته ای می تواند اطلاعات آزمایشگاهی روی رزونانس نوترون و پروتون و آنالیز تغییرات سطح مقطع و انحراف طیف ذره در واکنشهای هسته ای بدست آید. وابستگی سطح مقطع به انرژی، بازده نسبی کانالهای واکنش مختلف و انتشار اشعه گاما از هسته های برانگیخته، اطلاعات بیشتری در مورد چگالی تراز بدست می دهند. از آنجا که قطعی ترین راه برای بدست آوردن چگالی تراز شمارش مستقیم است، این روش منحصر به محدوده انرژی برانگیختگی نسبی کوچک بالای انرژی حالت زمینه می باشد. لذا در انرژی های بالاتر به علت درهم رفتگی ترازها امکان شمارش مستقیم وجود ندارد و باید به روشهای آماری روی آورد. به هر حال تمام فرمول های چگالی تراز دلایل موجهی برای حدود انرژی های پایین بدست می دهند. فرمول اصلی بت، برای توصیف همزمان چگالی طیف رزونانس نوترون و چگالی انرژی های پایین تنظیم شده بود. پیشرفتهای دیگر طوری هدایت شده بود تا دلیل موجهی برای تأثیرات ایزوتوپی، اختلافهای زوج-فردی، توزیع اسپین، اثرات تجمعی و یا اثر تغییر شکل هسته ای ارائه دهند.

در حال حاضر پیشرفت های فیزیک نجومی هسته ای و واکنشهای یون سنگین از مزایای چگالی تراز استفاده می کنند. کاربرد این موضوع از فیزیک رآکتور، روشهای فعال سازی، محافظت در مقابل تشعشعات و مواد جدید تا افق های تازه تحقیقات اصلی ساختار هسته ای، فیزیک نجوم و کیهان شناسی گسترده شده است.

بررسی رفتار واقعی هسته به عنوان یک سیستم بس ذره ای با مطالعه بر روی سطوح

انرژی آن امکان پذیر است. در انرژی های برانگیختگی پایین، ترازهای انرژی به طور جدا از هم قرار گرفته اند و به صورت گسسته و قابل شمارش هستند. اما وقتی انرژی برانگیختگی یک هسته افزایش پیدا می کند، نه تنها ترازها به هم نزدیکتر می شوند، بلکه پهنای بزرگتری را هم شامل می گردند. در انرژی های برانگیختگی بالا، ترازها با هم همپوشانی داشته و سپس در یک حالت پیوسته فرو می روند. به این دلیل تحلیل ترازهای انرژی هسته در حالت برانگیخته بر اساس مکانیزم تشکیل هسته مرکب در دو ناحیه جداگانه صورت می گیرد.

۱- ناحیه انرژی های برانگیزش پایین

۲- ناحیه انرژی های برانگیزش بالا

عدم امکان بررسی ترازها به طور منفرد و یا به عبارتی تشخیص نا پذیری ترازها در انرژی بالا، لزوم روی آوردن به مفاهیم آماری را به وضوح نشان می دهد. بدین ترتیب، چگالی ترازهای هسته ای، کلید پرداختن به این مفاهیم آماری است. به همین دلیل روش اسپکتروسکوپی برای ترازهای با انرژی پایین و روش آماری برای ترازهای با انرژی بالا به کار گرفته می شود.

روش اسپکتروسکوپی مناسب ترین روشی است که منجر به اطلاعات مفیدی در رابطه با ساختار هسته و برهم کنش های باقیمانده می شود. یکی از برهم کنش های باقیمانده برهم کنش جفت<sup>۱</sup>، یا به اصطلاح جفت شدگی می باشد.

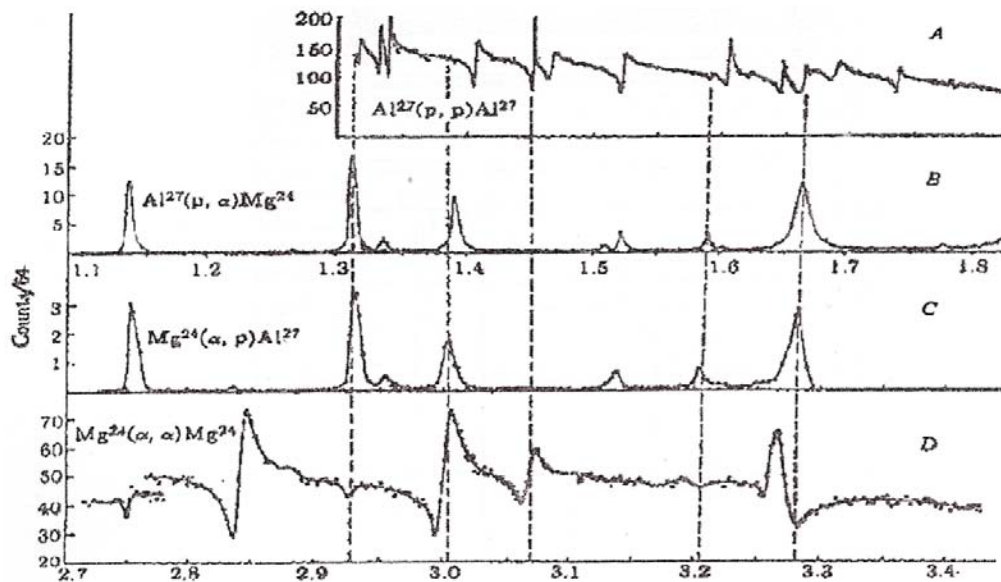
با توجه به مفهوم جفت شدگی و تمایل فرمیون ها به جفت شدن، تئوری چگالی ترازهای هسته ای پیشرفت کرده است. این نوع برهم کنش ها در انرژی های پائین، اهمیت بسیاری دارند. یکی دیگر از برهم کنش های باقیمانده، برهم کنش چهار قطبی- چهار قطبی<sup>۲</sup> است که

---

۱- Pairing Interaction

۲- Quadrupole-Quadrupole

از روی محاسبه توزیع تابع تغییر شکل هسته برحسب انرژی برانگیزش به دست می آید. در محدوده انرژی های بالا، ترازهای انرژی همپوشانی داشته و به صورت حالت های پیوسته در می آیند. بنا براین در ناحیه انرژی برانگیزش بالا، با ترازهای انرژی فوق العاده زیاد که غیر قابل تفکیک بوده و از نظر ساختار پیچیده اند، روبرو هستیم. ترازهای با انرژی برانگیزش پایین همانطور که در شکل های (۱-۱) و (۲-۱) دیده می شود جدا از هم و قابل شمارش هستند. اما در محدوده انرژی های بالا، انرژی ها با هم همپوشانی داشته و در یک حالت پیوسته فرو می روند، شکل های (۱-۱) و (۲-۱).

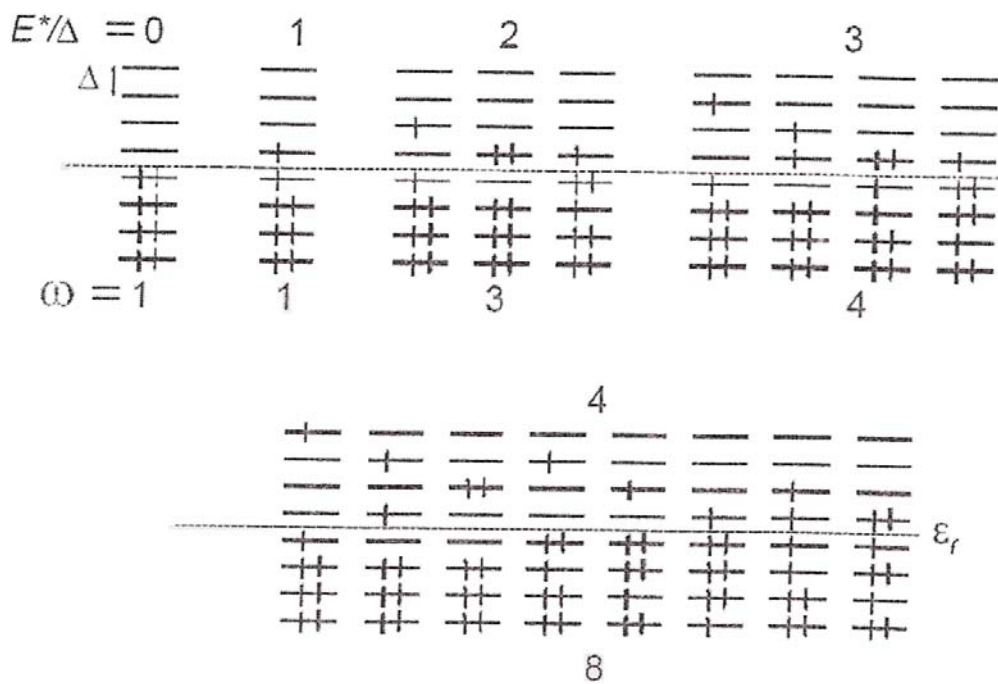


شکل (۱-۱)

همانگونه که در شکل ملاحظه می شود با توجه به متناظر بودن این پیک ها با ترازهای انرژی هسته در ناحیه انرژی برانگیزش پایین، ترازهای انرژی کم تعداد بوده و به خوبی از هم تفکیک شده اند و در ناحیه انرژی برانگیزش بالا، ترازهای انرژی بسیار زیاد و غیر قابل تفکیک بوده و از نظر ساختار پیچیده اند.



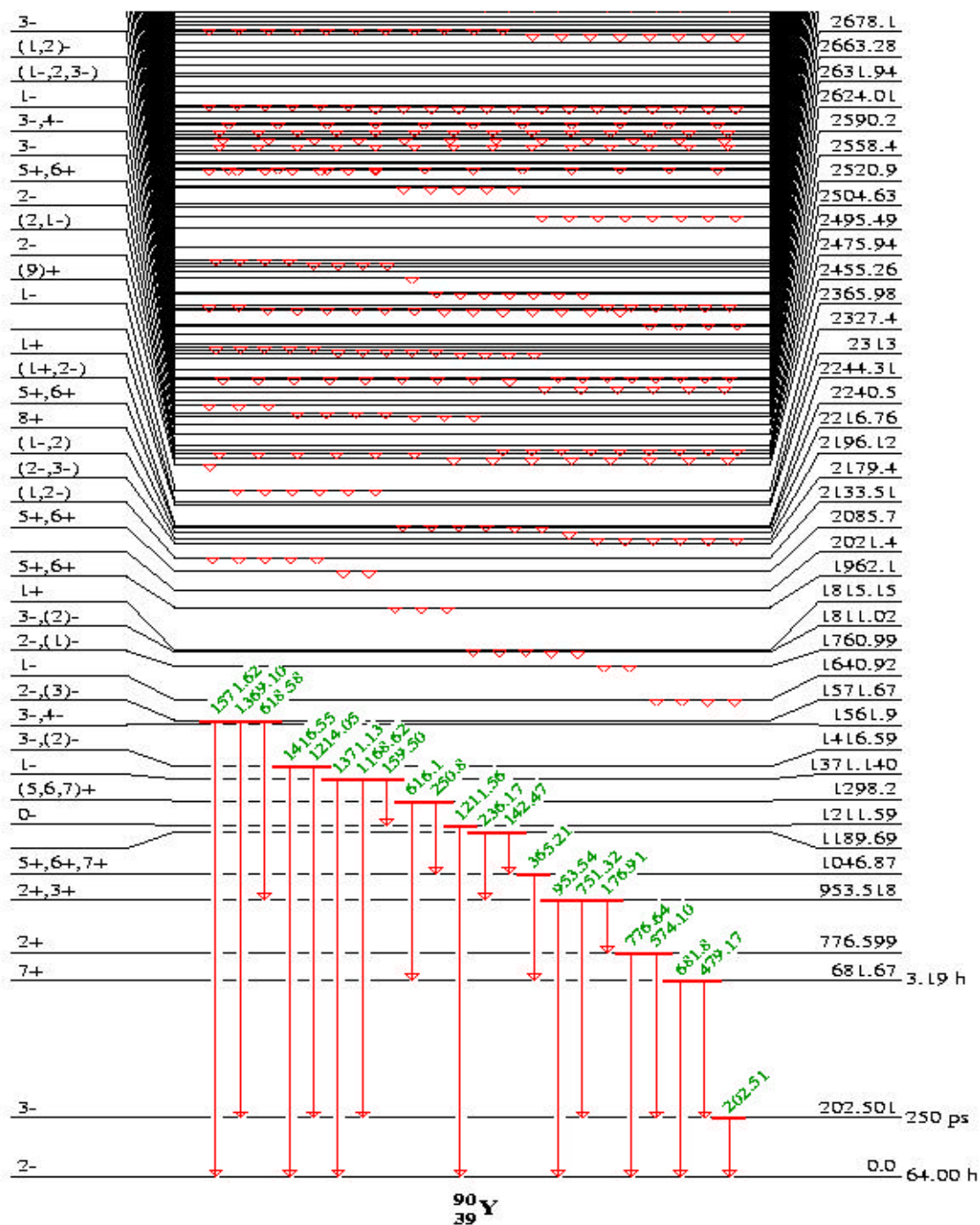
لذا در پی روشی آماری برای محاسبه تعداد ترازها در واحد انرژی و یا به اختصار  $NLD$  و به تبع آن تعداد حالات در واحد انرژی هستیم. شکل (۲-۱) یک ایده شماتیک از تعداد حالاتی که هسته در حالت برانگیخته بین آنها توزیع شده و اینکه با افزایش انرژی این حالات بیشتر و بیشتر می شود، ارائه می دهد.



شکل (۲-۱)

در این شکل افزایش تصاعدی حالات، نسبت به افزایش انرژی برانگیزش قابل مشاهده است.

90Y :ADOPTED LEVELS, GAMMAS



شکل (۳-۱)

در این شکل ترازهای برانگیخته هسته و انادیم  $^{90}_{39}\text{Y}$  نشان داده شده است

چگالی ترازهای هسته ای برای سیستمی شامل  $A$  نوکلئون و انرژی برانگیختگی  $U$  با نماد  $\omega$  نشان داده می شود و به صورت رابطه زیر تعریف می شود.

$$\omega(A,U) = \frac{dN(A,U)}{dU}$$

که  $N(A,U)$  تعداد کل ترازهای هسته ای با انرژی کمتر یا مساوی با  $U$  است، در نتیجه چگالی ترازهای هسته ای تعداد ترازها در واحد انرژی، در انرژی برانگیختگی  $U$  را مشخص می کند. چگالی ترازهای هسته ای را می توان به طور تجربی به روش های زیر بدست آورد.

۱- شمارش مستقیم ترازها در واکنش های ذرات باردار مانند برهم کنش های  $(p, p')$ ،  $\dots$  و  $(\alpha, p)$

۲- از تحلیل رزونانس نوترون های کند ( $\omega \approx D^{-1}$ ) که  $D$  فاصله ترازهای رزونانس نوترون است. این روش تنها در ناحیه کوچکی از انرژی برانگیختگی دقیقاً بالای انرژی جدایی ذرات بکار می رود.

۳- استفاده از تحلیل طیف ذرات ساطع شده.

در این تحقیق به دنبال روشهایی برای محاسبه تعداد ترازها در واحد انرژی هسته ای<sup>۱</sup> و به تبع آن تعداد حالات در واحد انرژی<sup>۲</sup> هسته ای هستیم. عمومی ترین روش محاسبه  $NLD$  استفاده از روش تابع پارش براساس تقریب نقطه زینی است. این روش در بدست آوردن یک فرمول تحلیلی ساده، بسیار توانا است. در این روش محاسبه از مدل های مختلفی مانند مدل گاز فرمی و مدل ترازهای هم فاصله استفاده می شود.  $NLD$  نقش مهم و قابل توجهی در واکنش های هسته ای از قبیل تشکیل هسته های مرکب و آهنگ واپاشی های هسته ای

<sup>۱</sup> - Nuclear Level Density (NLD)

<sup>۲</sup> - Nuclear State Density (NSD)

(احتمال گذار) از جمله واپاشی گاما در هسته هایی که تا حد بالایی برانگیخته شده اند، ایفا می‌کند. براین اساس يك ایده تقریبی برای احتمال پیدا کردن يك حالت خاص در يك انرژی معین و یا تعیین آهنگ واکنش هایی که در يك ناحیه معین انرژی رخ می دهد، شکل می گیرد. بنابراین مناسب ترین کمیتی که خواص آماری هسته ها را توصیف می کند، چگالی تراز هسته یا  $NLD$  است.  $NLD$  از همان روزهای اولیه فیزیک هسته ای موضوع تحقیق بوده و در این زمینه مقالات نظری و تجربی متعددی به رشته تحریر در آمده است. در واقع  $NLD$  محک بسیار خوبی برای تقریب هایی است که در سیستم های بس ذره ای اعمال می شود. لازم به ذکر است که باید تمایز روشنی بین چگالی حالت و چگالی تراز قائل شد. این کمیت ها به ترتیب با توابع  $\rho$  و  $\omega$  نمایش داده می شوند و تابعی از کمیت های اولیه از قبیل عدد پروتونی  $Z$ ، عدد نوترونی  $N$  و عدد جرمی  $A$  می باشند. برای مثال فرض می کنیم که هامیلتونین هسته ای تحت چرخش ناورد است. در نتیجه تفاوت حالت ها تنها در  $M$  تصویر اسپین  $J$  روی محور کوانتس می باشد. همه این حالت ها در انرژی تبهگن هستند. بنابراین  $2J+1$  حالت دارای  $J$  یکسانی هستند. اگر تعداد ترازها با  $J$  معین در واحد انرژی برانگیختگی  $U$ ، با در نظر گرفتن  $U = E - E_{ground}$  که  $E$  انرژی کل هسته و  $E_{ground}$  انرژی حالت پایه است،  $\omega_j(U)$  باشد، چگالی کل تراز از رابطه  $\omega_A(U) = \sum_j \omega_j(U)$  بدست می آید. چگالی حالت  $\rho(U)$  با چگالی تراز  $\omega(U)$  با فاکتور وزن  $(2J+1)$  برای هر تراز با اسپین  $J$  تفاوت دارد. به این صورت که:

$$\rho(U) = \sum_j (2J+1)\omega_j(U) \quad (1-1)$$

مشخصه ویژه کمیت  $\rho(U)$  افزایش سریع و فوق العاده آن با افزایش انرژی برانگیزش  $U$  می باشد. ساده ترین بیان برای چگالی ترازهای انرژی هسته ای توسط بت ( $Bethe$ ) براساس روش مدل گاز فرمی ( $Fermi Gas Model$ ) ارائه شده است [۱].