دانشکده علوم

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (گرایش هسته ای)

مطالعهٔ چگالی سطوح هسته ای و کاربردهای اخترفیزیکی

توسط:

زهرا امینی لاری

استاد راهنما:

خانم دکتر زهره کارگر

شهریور ماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

به نام خدا

اظهارنامـــه

اینجانب زهرا امینی لاری (۸۵۰۸۴۶) دانشجوی رشته ی فیزیک گرایش هسته ای دانشکده ی علوم اظهار می کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته ام. همچنین اظهار می کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه ام تکراری نیست و تعهد می نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: زهرا امینی لاری

تاریخ و امضا: ۱۳۸۸/۷/۸

به نام خدا

مطالعهٔ چگالی سطوح هسته ای و کاربردهای اخترفیزیکی

به وسیله ی:

زهرا امینی لاری

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:
فیزیک هسته ای

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر زهره کارگر، استادیار بخش فیزیک (استاد راهنما).....

دکتر نادر قهرمانی، استاد بخش فیزیک.....

دکتر عبد الناصر ذاکری، استاد بخش فیزیک.....

شهریورماه ۱۳۸۸

سلطان ازل گنج غم عشق به ما داد
تا پـای در ایـن منزل ویرانه نهـادیم

تقدیم به آنان که مهر نگاهشان امید بخش لحظه های زندگیم است و من عاشقانه دوستشان دارم.

سپاسگزاری

اینک در پایان فصلی دیگر از زندگی تحصیلی ام، شایسته است از همهٔ کسانی که آموخته هـایم را وامدار تلاشهای بی دریغشان هستم قدردانی نمایم.
از همهٔ اساتید بزرگوار بخش فیزیک دانشگاه شیراز و پیش تـر، از اسـتاد فرهیختـه و ارجمنـدم سرکار خانم دکتر زهره کارگر که همواره یار و یاور من بوده و با رهنمودهایشان سختیهای ایـن راه را بر من هموار نمودند نهایت تشکر و قدردانی را دارم و از خداوند منان سلامتی و شادکامی ایشان را آرزومندم.
همچنین از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر نادر قهرمانی و جناب آقای دکترعبدالناصر ذاکـری که همواره مرا از راهنمایی های خویش بهره مند ساخته اند بی اندازه سپاسگزارم.
از تمامی دوستانی که در طول مراحل تدوین و نگارش ایـن پایـان نامـه مـرا یـاری دادنـد نیـز صمیمانه تشکر می کنم.

چکیده

مطالعهٔ چگالی سطوح هسته ای و کاربردهای اخترفیزیکی

به کوشش

زهرا امینی لاری

دراخترفیزیک هسته ای تخمین سطح مقطع هسته های دور از پایداری که فاقد اطلاعات تجربی اند امری ضروری است. این کمیت برای درک چگونگی تشکیل هسته و تولید انرژی در ستاره ها و انفجار های ستاره ای اهمیت ویژه ای دارد. پارامتر چگالی تراز هسته کمیتی مهم در محاسبهٔ سطح مقطع به شمار می رود.

با استفاده از مدل گاز فرمی پس- جابجا شده (BSFG) پارامترهای چگالی تراز و پس- جابجایی انرژی برای ۵۰۷ هسته بین ^{16}F تا ^{250}Cf با رابطهٔ وابسته به انرژی و برای ۲۸۶ هسته بین ^{18}F تا ^{251}Cf با رابطه ای که وابستگی اسپینی را هم در بر دارد، تعیین شده است. این دو پارامتر بیانگر اثرات پوسته ای و زوجیت در چگالی تراز هسته ای می باشند.

پارامتر چگالی تراز هسته از رابطهٔ $a = A^{1/2}(0.1\,e^{-A^{0.8}/19} + 0.01)$ پیروی می کند. این رابطه را می توان برای صدها یا هزاران هسته که معمولاً راهی برای محاسبهٔ کاملاً میکروسکوپیکی آنها در دسترس نیست، بکار برد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

فصل دوم: اختر فیزیک هسته ای **۸**

۲-۱- مقدمه.....۸
۲-۲- همجوشی گرما هسته ای.....۹
۲-۳- تشکیل هسته ها در ستارگان ($A < 60$).....۱۳
۲-۳-۱- از ذرات سبک تا خوشهٔ آلفا و تشکیل هسته های پچیده.....۱۴
۲-۳-۲- سوختن هلیوم ستاره ای.....۱۶
۲-۳-۳-ادامهٔ فرآیندها تا تشکیل عناصر سنگینتر ($A \approx 60$).....۱۷
۲-۴- تشکیل هسته ها در ستارگان ($A > 60$).....۱۹
۲-۴-۱- منبع نوترون ستاره ای.....۲۰
۲-۴-۲- فرایند کند ۲۱
۲-۴-۳- فرآیند سریع.....۲۲
۲-۶- خلاصه ای از سرگذشت ماده.....۲۴

فصل سوم: مدل آماری و چگالی ترازهای هسته **۲۶**

۳-۱- مقدمه.....۲۶
۳-۲- مدل آماری.....۲۷
۳-۳- صورت عمومی چگالی تراز های هسته.....۲۷
۳-۴- ساختار هسته و مدل پوسته ای درآهنگ واکنش های هسته ای..... ۳۰
۳-۵- اثرات پوسته ای و زوجیت..... ۳۰

فصل چهارم: مدل گاز فرمی و کاربرد آن در تحلیل داده های تجربی ۳۷

۴-۱- تابع پارش ساده..... ۳۷
۴-۲- تابع پارش بزرگ..... ۴۰
۴-۳- مدل گاز فرمی..... ۴۲
۴-۴- مدل فواصل یکسان..... ۴۵
۴- ۵- گاز فرمی با دو نوع فرمیون..... ۴۹
۴-۶- وابستگی به اسپین..... ۶۱

فصل پنجم: روش انجام محاسبات ۶۴

۵-۱- محاسبهٔ پارامترهای چگالی تراز و پس- جابجایی با استفاده از رابطهٔ $N(E)$..... ۶۴
۵-۲- محاسبهٔ پارامترهای چگالی تراز و پس- جابجایی با استفاده از رابطهٔ وابسته به اسپین چگالی تراز $N(E,J_1,J_2$..... ۹۰

فصل ششم: نتایج ۱۱۰

فهرست منابع

فهرست جدول ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول ۵-۱: پارامتر چگالی تراز و پس جابجایی مربوط به N(E) برای NL=2 , 3
و فیت سه پارامتری..... ۶۵
جدول ۵-۲: پارامتر چگالی تراز و پس جابجایی مربوط به رابطهٔ $N(E, J_1, J_2)$
برای NL=2 , 3 و فیت سه پارامتری..... ۹۱

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- وابستگی $n(E)$ و σv به انرژی. حاصلضرب آنها که متناسب با آهنگ واکنش است با ناحیهٔ سایه دار نشان داده شده است . . . ۱۲

شکل ۲-۲- انرژی پیوندی به ازای واحد عدد جرمی،که برای تمام هسته های طبیعی رسم شده. ۱۴

شکل ۲-۳- زنجیرهٔ پروتون - پروتون ۱۵

شکل ۲-۴- چرخهٔ کربن- نیتروژن ۱۶

شکل ۲-۵- حاصلضرب σN پس از قلهٔ Fe به مقدار ثابتی نزدیک می شود. ۲۱

شکل ۲-۶- مسیر فرآیندهای سریع r و کند s در ^{56}Fe . . . ۲۳

شکل ۲-۷- فراوانی ایزوبارها، قله های نزدیک به $A = 80 , 130 , 195$ از واپاشی بتازای هسته ها . . . ۲۴

شکل ۳-۱- تعداد کل حالتها تا انرژی E ، N(E) ، بر حسب E برای ^{33}S . خطوط تیره بیانگر تعداد تخمینی ترازهای تحلیل نشده اند. ۲۸

شکل ۳-۲- طیف ترازهای ^{41}Sc. به تغییر مقیاس انرژی بین ۴ و ۵ مگا الکترون ولت توجه کنید . . . ۳۲

شکل ۳-۳- تعداد کل حالتها تا انرژی برانگیختگی E برای ^{56}Mn ، ^{55}Fe ، ^{57}Fe و ^{58}Fe بر حسب E . . . ۳۳

شکل ۳-۴- ترکیب بندی برانگیختهٔ نوعی برای یک سیستم فرمی با فواصل یکسان شامل یک نوع ذره . . . ۳۴

شکل ۳-۵- چگالی تراز کامل به ازای واحد فاصلهٔ تک ذره $\rho(s)$ برای یک سیستم فرمی با یک نوع ذره و با ترازهای تک ذره هم فاصله . . . ۳۵

شکل ۵-۱- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (الف) ۷۶

شکل ۵-۲- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (ب) ۷۷

شکل ۵-۳- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (پ) ۷۸

شکل ۵-۴- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (ت) ۷۹

شکل ۵-۵- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (ث) ۸۰

شکل ۵-۶- نمودارهای تعداد تراز بر حسب انرژی، برازش شده با رابطهٔ N(E) (ج) ۸۱

شکل ۵-۷- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ N(E) با NL=3 ۸۲

شکل ۵-۸- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ N(E) با فیت سه پارامتری ۸۳

شکل ۵-۹- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد اتمی (Z) مربوط به رابطهٔ N(E) با NL=3 ۸۴

شکل ۵-۱۰- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد اتمی (Z) مربوط به رابطهٔ N(E) با فیت سه پارامتری ۸۵

شکل ۵-۱۱- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و(b) پس- جابجایی برحسب عدد نوترونی (N) مربوط به رابطهٔ N(E) با NL=3 ۸۶

شکل ۵-۱۲- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و(b) پس- جابجایی برحسب عدد نوترونی (N) مربوط به رابطهٔ N(E) با فیت سه پارامتر ۸۷

شکل ۵-۱۳- نمودارهای (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ N(E) با NL=3 تفکیک شده برای هسته های زوج- زوج ، A- فرد و فرد- فرد. ۸۸

شکل ۵-۱۴- نمودارهای (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ N(E) با فیت سه پارامتری تفکیک شده برای هسته های زوج- زوج ، A- فرد و فرد- فرد. ۸۹

شکل ۵-۱۵- نمودار تعداد تراز بر حسب انرژی هسته های زوج- زوج ، برازش شده با رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ (الف) ۹۷

شکل ۵-۱۶- نمودار تعداد تراز بر حسب انرژی هسته های زوج- زوج ، برازش شده با رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ (ب) ۹۸

شکل ۵-۱۷- نمودار تعداد تراز بر حسب انرژی هسته های فرد- فرد ، برازش شده با رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ (پ) ۹۹

شکل ۵-۱۸- نمودار تعداد تراز بر حسب انرژی هسته های فرد- فرد ، برازش شده با رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ (ت) ۱۰۰

شکل ۵-۱۹- نمودار تعداد تراز بر حسب انرژی هسته های فرد- فرد ، برازش شده با رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ (ث) ۱۰۱

شکل ۵-۲۰- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی

(A) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با $NL=3$ ۱۰۲

شکل ۵-۲۱- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با فیت سه پارامتری ۱۰۳

شکل ۵-۲۲- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد اتمی (Z) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با $NL=3$ ۱۰۴

شکل ۵-۲۳- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد اتمی (Z) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با فیت سه پارامتری ۱۰۵

شکل ۵-۲۴- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی برحسب عدد نوترونی (N) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با $NL=3$ ۱۰۶

شکل ۵-۲۵- نمودار(a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی برحسب عدد نوترونی (N) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با فیت سه پارامتری ۱۰۷

شکل ۵-۲۶- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با $NL=3$ تفکیک شده برای هسته های زوج- زوج ، A- فرد و فرد- فرد. ۱۰۸

شکل ۵-۲۷- نمودار (a) پارامتر چگالی تراز و (b) پس- جابجایی بر حسب عدد جرمی (A) مربوط به رابطهٔ $N(E,J_1,J_2)$ با فیت سه پارامتری تفکیک شده برای هسته های زوج- زوج، A- فرد و فرد- فرد. ۱۰۹

شکل ۶-۱ برازش $N(E)$ با فرمول $a = A^2(0.105045e^{-A^{0.8}/19.11238} + 0.014705)^2$. ۱۱۱

شکل ۶-۲ برازش $N(E,J_1,J_2)$ با فرمول $a = A^2(0.09162e^{-A^{0.8}/19.887935} + 0.019285)^2$. ۱۱۱

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

فیزیک هسته ای تاریخچه ای غنی و طولانی در کاربردهای اختر فیزیک دارد که تا به امروز نیز ادامه یافته است. پیشرفت در دقت و وسعت داده ها و تئوری اختر فیزیکی احتیاج به آزمایشها و درک بهتر فیزیک هسته ای بنیادی را آشکار می سازد. فیزیک هسته ای در چندین سناریو از جمله تشکیل هسته ای انفجار بزرگ[۱]، تولید نوترینو بوسیلهٔ خورشید، تشکیل هسته ای در ابرنواختر[۲]، خلق عناصر سنگینتر از آهن و ستاره های نوترونی[۳] نقش مهمی را ایفا می کند[۱].

پیشگویی سطح مقطع هسته های دور از پایداری در زمینه اختر فیزیک هسته ای امر بسیار مهمی است و برای محاسبه سطح مقطع واکنش ها چگالی تراز هسته ای (NLD)[۴] کمیت حائز اهمیتی به شمار می رود. سطح مقطع واکنش های مرکب در بسیاری از کاربرد هایی که شامل اختر فیزیک و استفاده از اطلاعات هسته ای در علوم و تکنولوژی می شوند، مورد نیاز است. همچنین ، دانستن آهنگ واکنش برای درک چگونگی تشکیل هسته ها و تولید انرژی در ستاره ها، و انفجارهای ستاره ای[۵] دارای اهمیت زیادی است. در بسیاری از رویدادهای اختر فیزیکی مثل فرآیند- r[۶] ، سطح مقطع های مورد نیاز برای محاسبه آهنگ واکنش، در محدوده ای قرار می گیرند که روش های آماری برای آنها مناسبند. در این موارد محاسبات سطح مقطع وسیله ای ضروری برای تعیین آهنگ واکنش به شمار می رود، به ویژه واکنش هایی که شامل هسته های رادیواکتیوی می باشند که در حال حاضر به طریق تجربی قابل دسترس نیستند.

سوختن انفجاری هسته ای[۷] در محیط های اختر فیزیکی، هسته های ناپایداری تولید می کند که می توانند دوباره به عنوان هدف در واکنش های بعدی به کار روند. به علاوه، تعداد بسیار زیادی از هسته های پایداری که هنوز کاملاً از طریق آزمایش کشف نشده اند را نیز در بر دارند[۲]. این هسته ها فاقد اطلاعات تجربی کافی هستند[۳]. بنابراین، توانایی پیشگویی سطح مقطع واکنش ها و آهنگ های گرما هسته ای به کمک مدل های تئوری ضروری است[۲].

---

[1] - big bang nucleosynthesis
[2] - supernovae
[3] - neutron stars
[4] - Nuclear Level Density
[5] - steller explosion
[6] - r-process
[7] - explosive nuclear burning

مطالعه چنین مدل هایی نیازمند پیشگویی خواص هسته ای برای تعداد زیادی هسته و حتی چنانچه کلیه فرآیند های تشکیل هسته ای در نظر گرفته شود تا چندین هزار هسته می باشد[۳]. سوختن انفجاری در ابرنواخترها شامل جرم های متوسط و هسته های سنگین است که به خاطر تعداد زیاد نوکلئون، ذاتاً دارای چگالی بالایی از حالات برانگیخته هستند. این چگالی تراز بالا در هسته مرکب و در انرژی برانگیختگی مناسب، اجازه استفاده از روش های آماری را برای واکنش های هسته ای مرکب می دهد (مثلاً [۴و۵]).

در کاربردهای اخترفیزیکی معمولاً جنبه های متفاوتی در مقایسه با تحقیقات فیزیک هسته ای محض، مورد تأکید قرار می گیرند. فیزیک هسته ای محض بیشتر روی واکنش هایی متمرکز شده که اغلب اجزاء آنها مثل پتانسیل اپتیکی ذرات، ضرائب عبور α، چگالی ترازها و انرژی های تشدیدی از آزمایش به دست می آیند. البته هر اندازه که شرایط مدل آماری برآورده شود (تعداد زیاد تشدید در انرژی بمباران مناسب) به همان نسبت سطح مقطع های دقیق تری نیز حاصل می شود. اما در کاربردهای اخترفیزیکی، برای اکثر هسته ها چنین اطلاعاتی در دسترس نیست. جهت تعیین تمام این اجزاء برای بررسی دهها یا هزاران هسته که معمولاً راهی برای محاسبه کاملاً میکروسکوپیکی وجود ندارد از روش های آماری، با وجود عدم قاطعیت صرف آن، استفاده می شود[۲].

NLD از این نظر که اطلاعاتی راجع به ساختار هسته های به شدت برانگیخته فراهم می کند[۶]، یکی از کمیت های مورد نیاز در فیزیک هسته ای به ویژه برای مدل های واکنش هسته (مثلاً تئوری آماری هاسر- فشباخ[8]) می باشد. این کمیت در حقیقت با پیشگویی توزیع تمام ترازهای برانگیخته یک هسته، دانش ما را از این سیستم کوانتمی پیچیده افزایش می دهد. از سوی دیگر NLD ، جزء ترکیبی مهمی را در محاسبات مدل آماری سطح مقطع واکنش های هسته ای بیان می کند که همانطور که گفتیم،کاربرد زیادی در محاسبات اختر فیزیک (تعیین آهنگ های گرما هسته ای[9] در تشکیل هسته ها) و طراحی راکتورهای شکافت و همجوشی دارد[۷]. نیاز به محاسبه آهنگ واقعی واکنش ها و بنابراین چگالی تراز هسته، برای جمعیت زیادی از هسته ها در اخترفیزیک هسته ای، با هسته هایی که در کل جدول تناوبی به طرف خط چکیدن پروتون[10] (برای فرآیندهای αp- یا r-p)، نزدیک دو طرف خط پایداری[11] (برای فرآیندهای s و p) و یا به سمت خط چکیدن نوترون[12] (در فرآیند r)توزیع می شوند، ناشی می شود[۸]. هسته هایی که از فرآیندهای r و rp در اختر فیزیک هسته ای حاصل می شوند نسبت به هسته هایی که چگالی تراز آنها مطالعه شده است، بطور قابل توجهی غنی از

[8] - Statistical Hauser-Feshbach theory
[9] - Thermonuclear rates
[10] - Proton drip line
[11] - Valley of stability
[12] - Neutron drip line

نوترون و پروتون هستند. محاسبات فرآیند های گیر اندازی نوترون و پروتـون در اختـر فیزیـک نیازمند چگالی تراز به عنوان پارامتر ورودی است. به خاطر کمبود اطلاعات دربارهٔ چگـالی تـراز چنین هسته هایی پارامتر چگالی تراز معمولاً بر پایهٔ اطلاعات نزدیک به خط پایـداری تخمـین زده می شود[۹]. در تمام این مـوارد، آهنـگ تعـداد بسـیار محـدودی از واکـنش هـا بـویژه در محدوده انرژی های اخترفیزیکی به طریق تجربی قابل اندازه گیری اسـت و بـرای سـایر مـوارد فقط پیشگویی های تئوری ممکن است[۸].

ترازهای هسته به دو منطقهٔ انرژی تقسیم می شـوند؛ انـرژی برانگیختگـی کـم و زیـاد. ایـن تقسیم بندی به علت تفاوت در روش تحلیل آنهاست. یعنی روش طیف سنجی برای تـراز هـای کم انرژی و روش آماری برای ترازهای پر انرژی. تراز های با انرژی کم، کم تعداد، جـدا از هـم و دارای ساختار ساده ای هستند. برای این ترازها روش طیف سنجی مناسب تر است[۱۰]. بخش عمده دانش نوین ما در مورد خواص هسته ها، بر پایه مطالعه حـالات برانگیختـه و کـم انـرژی هسته ها استوار است[۱۱]. مطالعه چگـالی ترازهـای هسـته عمومـاً، و بطـور خـاص در انـرژی برانگیختگی های کم از چندین جنبه مورد توجه است. از جملـه آزمـودن مـدل هـای سـاختار هسته به کمک مقایسه بین چگالی ترازهای تجربی، تعیین مکانیسم واکـنش و محاسـبه سـطح مقطع آن [۲]. همچنین به خاطر انرژی های برهم کنش مؤثر پایین در کاربردهای اخترفیزیک، معمولاً چگالی تراز در انرژی برانگیختگی های کم را بـرای تعیـین آهنـگ واکـنش هـای اختـر فیزیکی در نظر می گیرند[۳]. هر چند با پیشرفت تئوری هسـته ای، داده هـای طیـف نگـاری مشاهده شده در زمینهٔ ساختار چگالی ترازهای کم انرژی، با موفقیت بیشـتری شـرح داده مـی شود، اما با افزایش انرژی برانگیختگی، تعداد ترازهای هسته ای به سـرعت زیـاد مـی شـود، بـه طوری که تحلیل دقیق هر سطح واقعاً غیر ممکن است. از ایـن رو متوسـل شـدن بـه میـانگین گیری های آماری روی خواص هسته های برانگیخته امری معقول به نظر می رسد[۱۱].

تقریب مدل آماری برای محاسبه آهنگ واکنش های گرماهسته ای در زمینه اختـر فیزیـک توسط محققان زیادی به کار گرفته شده[۱۴-۱۲] که ابتدا فقط از خواص حالات پایـه اسـتفاده می کردند، ولی بعد اهمیت حالات برانگیختهٔ هدفها نیز مورد توجه قـرار گرفـت[۱۵]. در حـال حاضر تألیفات ([۱۶و۱۷]) منابعی هستند که در سطح وسیعی از کاربردها در تمام زمینه های اخترفیزیک هسته ای، جایی که اطلاعات تجربی کافی وجـود نـدارد (مـثلاً پتانسـیل اپتیکـی، مدلهای جرمی برای پیشگویی مقادیر Q، تغییر شکل ها و حتـی اجزائـی بـرای توصـیف خـواص تشدیدهای خیلی بزرگ)، مورد استفاده قرارمی گیرند. در کاربردهای اخترفیزیکی بزرگ مقیاس نه تنها لازم است که روشهای مناسبی بـرای پیشـگویی هـای چگـالی تـراز بیـابیم، بلکـه بایـد روشهای عملی محاسبه ای را نیز جستجو کنیم[۲]. در اصل چگالی تراز هسته را بایـد بوسـیلهٔ مدل های میکروسکوپیکی استخراج کرد. هرچند محاسـبات چگـالی تـراز در مـدل پوسـته ای

قراردادی، به علت افزایش ابعاد فضای مدل با تعداد ترازهای تک ذره و یا تعداد نوکلئون های ظرفیت به ناحیه جرمی $A \leq ۵۰$ محدود می شوند[۱۸].

محاسبات مدل پوسته ای بزرگ مقیاس چگالی تراز را می توان در چارچوب مدل پوسته ای مونت کارلو (SMMC)[۱۳] انجام داد[۱۹]. بیشتر محاسبات SMMC در یک پوسته اصلی پر انجام می شود. ولی می توان آنها را به انرژی برانگیختگی های بالاتر با در نظر گرفتن تمام پوسته های دیگر در یک تقریب میدان میانگین[۱۴] بسط داد[۲۰]. محاسبات SMMC عموماً وقت گیرند و انتقال آنها به تعداد زیادی هسته که مورد نیاز کاربردهای اخترفیزیکی در مقیاس بزرگ هستند مشکل است. با وجود افزایش سرعت کامپیوترها، هنوز یک توصیف میکروسکوپیکی منطقی برای کلیهٔ خواص مورد نیاز برای تمام هسته ها حاصل نشده است، البته این موضوع به دانش هنوز ناکافی ما در مورد برهم کنش های هسته ای و اثرات آن روی هسته های غنی از نوترون یا پروتون نیز وابسته است. بنابراین، بسیاری از روش های محاسبهٔ آهنگ واکنش های اخترفیزیکی از رفتارهای پدیده شناختی استفاده می کنند. ولی این بدان معنی نیست که آنها فقط برازش ریاضی یک خاصیت مربوط به ناحیهٔ پایداری و سپس برونیابی به هسته های ناپایدارند، بلکه در واقع بر پایهٔ بینش های فیزیکی مبتنی بر آن خاصیت بنا شده اند و امکان گسترش کاربرد آنها را برای هسته های ناشناخته به واسطه تنها چند پارامتر قابل تنظیم فراهم می سازند[۳]. مدل گاز فرمی بدون برهم کنش[۱۵] [۲۱] چنین مدلی است. بیشتر محاسبات مدل لایه ای مونت کارلو و تقریبهای ترکیبی[۱۶][۲۲] نیز با این تقریب پدیده شناختی سازگارند و کاربرد توصیف گاز فرمی را در انرژی جدایی نوترون تصدیق می کنند[۲].

سالهاست که اندازه گیری این کمیت، NLD در چارچوب مدل گاز فرمی تفسیر شده و فرمول معروف بت[۱۷] [۲۳] در بیشتر محاسبات به کار گرفته می شود. چون این فرمول رفتاری مطابق با داده های تجربی (یعنی افزایش تقریباً نمایی چگالی تراز با انرژی برانگیختگی و عدد جرمی) را پیشگویی می کند. فرمول بت بر پایهٔ مدل آماری است (مثلاً [۲۴] را ببینید) و سه فرض اصلی را در بر دارد.

الف- فرض ذرات مستقل، که اجازهٔ تعریف یک تابع پارش هسته ای با شکلی ساده را با استفاده از انرژی های تک ذره ای می دهد.

ب- فرض فواصل یکسان حالتهای تک ذره ای نزدیک تراز فرمی

ج- تقریب نقطه زینی[۱۸] برای محاسبه تبدیل لاپلاس[۱۹] معکوس تابع پارش

---

[13] - Shell Model Monte Carlo method
[14] - Maen-field approximation
[15] - Noninteracting Fermi gas model
[16] - Combinatorial approaches
[17] - Bethe
[18] - Saddle-Point approximation
[19] - Laplace transform