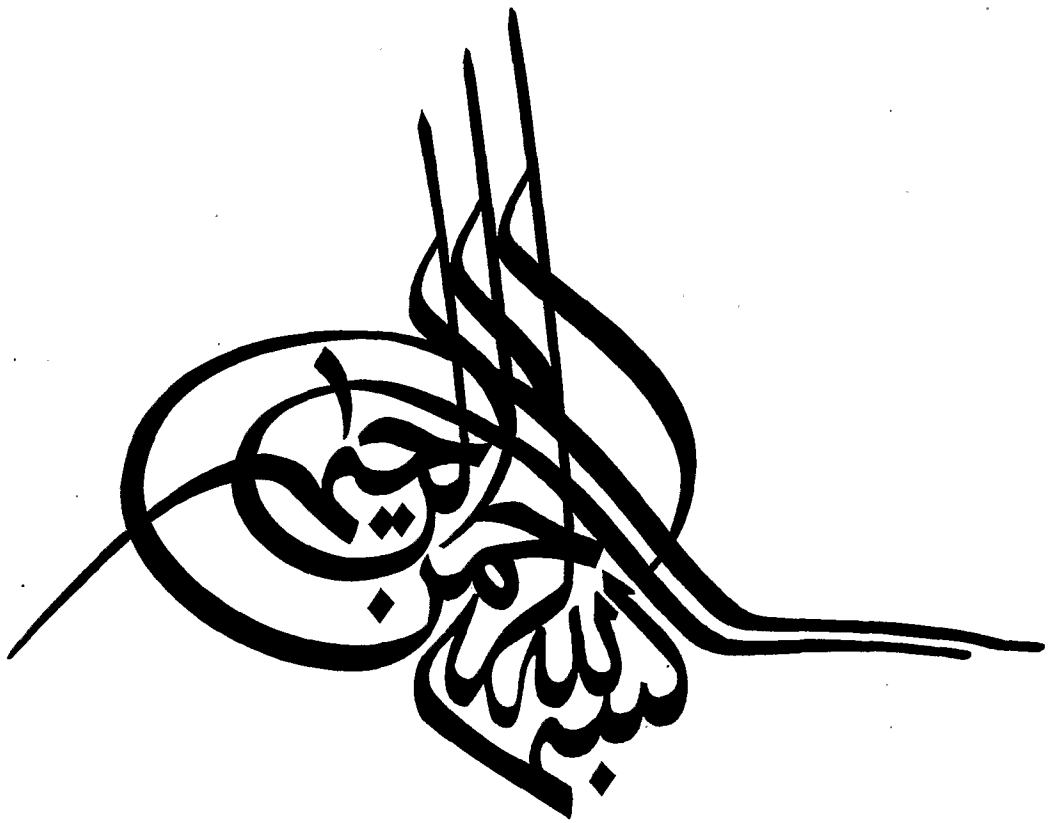


١٠٩١٨٧

۸۷/۱/۱۰۹۹۳۷
۸۸ ـ ۱ ـ ۱۸

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکدهٔ علوم- بخش فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک

پرتوهای گاما گواهی برمنشأ ابرنواختری پرتوهای کیهانی کهکشانی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک
۱۳۸۷/۱۲/۲۷

استاد راهنما:
دکتر سید جلیل الدین فاطمی

مؤلف:
مهدی رستمی حسین خانی

آبان ۱۳۸۷

۱۰۹۱۸۷

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش فیزیک

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنرکرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: مهدی رستمی حسین خانی

استاد راهنما: دکترسید جلیل الدین فاطمی

داور ۱: دکتربهرام خالصه

۱۳۸۷ /۱۲/ ۰۷

داور ۲: دکترمجید رهنما

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکترحسن فاطمی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

سپاس خداوند بزرگ را که توفیق به اتمام رساندن این پایان نامه را نصیب اینجانب گردانید.

از آقای دکتر سید جلیل الدین فاطمی به خاطر راهنمائیهای ارزشمندشان تقدیر و تشکر می کنم و از خداوند متعال سلامتی و موفقیت ایشان را خواستارم.

همچنین از دوستان عزیزم آقایان عبدالرحمن شاهرخ، هادی بازیار، کیوان احمدی و سایر کسانی که مرا در این کار یاری کردند کمال سپاس و تشکر را دارم.

چکیده :

ساز و کار تولید ذرات پرتوهای کیهانی از منشأ ابرنـواختری و چگـونگی انتـشار ذرات در محیط بـین سـتاره ای بـا الگوهـای ابرنـواختری مختلـف ارائـه مـی گـردد. بنـابراین محاسبه، شار گامای حاصل از ابرنواخترها بستگی به نوع الگو ابرنواختری انتخاب شده دارد. در ایـن پایـان نامـه، بـا محاسـبه شـار گامـای حاصـل از ابرنواخترهـا، معتبرتـرین الگوهای ابرنواختری یعنی الگوهای اکسفورد و برزکو را به محک گرفته و بـا در نظـر گرفتن پارامترهای مختلف این الگوها و اعمال مشخصه های متفاوت محـیط هـای بـین ستاره ای شار گامای حاصل از ابرنواخترها را در شرایط فوق محاسبه می کنـیم کـه در مقایسه با شارهای مشاهده شده بهترین الگو و نوع مناسب محـیط بـین سـتاره ای تعیـین می گردد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: برهم‌کنش‌های هسته‌ای و پرتوهای کیهانی

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ فیزیک هسته‌ای و نجوم انرژی‌های بالا..... ۴

۱-۲-۱ پروتون‌های پرانرژی..... ۵

۱-۲-۲ هسته‌های پرتوهای کیهانی..... ۸

۱-۲-۳ سطح مقطع‌های تلاشی..... ۹

۱-۲-۴ خطوط نشر هسته‌ای..... ۱۱

۱-۲-۵ آبشارهای هسته‌ای..... ۱۱

۱-۲-۶ پرتوهای کیهانی در اتمسفر..... ۱۴

۱-۳ پرتوهای کیهانی..... ۱۶

۱-۳-۱ معرفی..... ۱۶

۱-۳-۲ پرتوهای کیهانی..... ۱۷

۱-۳-۳ چطور پرتوهای کیهانی مشاهده شده اند؟..... ۱۹

۱-۴-۳ ذرات پرتو کیهانی در فضای بین ستاره ای..... ۲۰

عنوان صفحه

۱-۳-۵ تصویر حاضر پرتوهای کیهانی در جو..... ۲۱

۱-۳-۶ پرتوهای کیهانی در سطح زمین..... ۲۴

۱-۳-۷ پرتوهای کیهانی زیر زمین..... ۲۴

۱-۳-۸ بارشهای هوایی..... ۲۵

فصل دوم: منابع پرتوهای کیهانی و مدلهای ابرنواختری

۲-۱ طیف و ترکیبات شیمیایی پرتوهای کیهانی..... ۲۹

۲-۲ منابع پرتوهای کیهانی..... ۳۳

۲-۲-۱ خورشید به عنوان منبع پرتوهای کیهانی..... ۳۳

۲-۲-۲ منابع کهکشانی پرتوهای کیهانی..... ۳۴

۲-۲-۳ منابع ماورای کهکشانی پرتوهای کیهانی..... ۳۷

۲-۲-۴ منابع دیگر پرتوهای کیهانی..... ۳۷

۲-۳ باقیمانده های ابرنواختری و پرتوهای کیهانی..... ۳۸

۲-۳-۱ آیا پرتو های کیهانی از *SNe* یا *SNR*ها می آیند؟ ۳۸

۲-۳-۲ شتاب ذرات توسط ابرنواخترها..... ۳۹

عنوان صفحه

۲-۳-۳ آیا وفور پرتو کیهانی از SNRها ناشی می شود؟ ۴۱

۲-۴ الگوهای اکسفورد و برزکو ۴۲

۲-۴-۱ الگو اکسفورد ۴۲

۲-۴-۲ الگو برزکو ۴۳

فصل سوم : شکل گیری و تحول ستارگان

۳-۱ تحول ستارگان ۴۶

۳-۱-۱ نمودار هرتسپرونگ ـ راسل ۴۷

۳-۱-۲ تحول ستارگان براساس جرم آنها ۵۰

۳-۱-۳ غول های سرخ و جرقه هلیوم ۵۱

۳-۱-۴ سحابی سیاره‌ای ۵۵

۳-۱-۵ کوتوله سفید ۵۶

۳-۱-۶ ستاره نوترونی ۵۷

۳-۱-۷ ابرغول ها ۵۸

عنوان | صفحه

۳-۱-۸ نواخترها..... ۵۹

۳-۱-۹ ابرنواخترها..... ۶۰

۳-۲ انواع ابرنواخترها..... ۶۴

۳-۲-۱ ابر نواختر نوع اول..... ۶۴

۳-۲-۲ ابرنواختر نوع دوم..... ۶۶

۳-۳ باقیمانده ابرنواختر..... ۶۸

فصل ۴: پرتوهای گاما گواهی بر منشأ ابرنواختری

۴-۱ معرفی..... ۷۱

۴-۲ انتخاب شرایط مناسب در محیط انتشار ذرات..... ۷۳

۴-۳ روش محاسبات..... ۷۵

۴-۴ انتخاب بهترین α و الگو ابرنواختری..... ۸۱

۴-۵ شار پرتو کیهانی با وجود ابر مولکولی..... ۹۲

۴-۶ طیف شار گامای حاصل از ابرنواخترهای مختلف..... ۹۵

۴-۷ نتایج..... ۱۰۱

عنوان	صفحه

پیوست..... ۱۰۴

منابع و مراجع..... ۱۰۸

فصل اول

برهم‌کنش‌های هسته‌ای و پرتوهای کیهانی

۱-۱ مقدمه :

پرتوهای کیهانی، ذرات بارداری مثل پروتون ها، الکترون‌ها و هسته های اتمی هستندکه با اتمسفر برخورد می‌کنندکه این موضوع از سال ۱۹۰۰ آغاز شد، هنگامی که الکتروسکوپ باردار حتی اگر در یک محیط تاریک و عاری از تابش رادیواکتیو قرار می گرفت، بار آن تخلیه می شد. این تخلیه بار در الکتروسکوپ و عمل یونیزاسیون برای دانشمندان به صورت یک معما درآمده بود. تا قبل از سال ۱۹۱۲ آنها علت تخلیه بار و یونیزاسیون را ناشی از تابش های رادیواکتیو زمینی می دانستند، ولی در سال ۱۹۱۲ ویکتور هس[1] با انجام آزمایش های یونیزاسیون در ارتفاعات بالا عامل این تابش ها را منابع فرازمینی دانست و آنها را پرتوهای کیهانی نامید. این پرتوها ذرات بارداری هستند که با سرعت نزدیک نور حرکت کرده و حامل انرژی می باشند و چون در میدان مغناطیسی منحرف می شوند دارای بار الکتریکی هستند. پرتوهای کیهانی با آهنگی حدود ۱۰۰۰ ذره بر متر مربع در هر ثانیه به بالای جو زمین برخورد می کنند.

واژه "پرتو کیهانی" اولین بار توسط رابرت میلیکان[2] در ۱۹۲۵ مورد استفاده قرار گرفت این ذرات در بالای اتمسفر بیشتر از هسته های اتمی(هسته های هیدروژن، پروتون ها، هسته های هلیم (ذرات آلفا)) و۲٪ الکترون وپزیترون تشکیل شده اند. بعد از شناسایی این پرتو لازم بود منابع آنها را تعیین کنند. اولین منابع پیشنهادی خورشید بود، اما چون انفجارهای خورشیدی پرتوهای کیهانی را تا انرژی $۱۰GeV$ شتاب می دهد پس خورشید به تنهایی نمی توانست منبع آن ها باشد به این

---

[1]. *Viktor Hess*
[2]. *Robert Millikan*

دلیل که انرژی پرتوهای کیهانی اندازه گرفته شده، تا حدود 10^{20}eV می باشد. پس از بررسی های دقیق نتیجه گرفتند منابع کهکشانی که می توانست پرتوهای کیهانی را تا انرژی 10^{15}eV شتاب دهد، منبع ابرنواختری است. دو شکستگی طیفی در طیف اندازه گیری شده پرتوهای کیهانی مشاهده می شود. یکی در انرژی 3×10^{15}eV که به آن زانو[1] گفته می شود و دیگری 3×10^{18}eV که به آن آرنج[2] می گویند،که علت آن ها را به ترتیب از منشأ کهکشانی و ماورای کهکشانی می دانند. ابر نواختر یک مرحله از تحول ستاره ای است که در طی آن ستارگان رشته اصلی با جرم بیشتر از چهار برابر جرم خورشید، وقتی توازن دو نیروی گرانشی به سمت داخل و فشار گاز به سمت بیرون به هم می خورد، واکنش های هسته ای در آنها آغاز می شود و سرانجام پس از آنکه در اثر همجوشی، هسته مرکزی آن به آهن تبدیل شد، متلاشی می شود و در اثر آن موج ضربه ای حاصل می شود که انرژی حاصل از انفجار آن در حدود 10^{51}erg است و کسری از این انرژی به پرتوهای کیهانی منتقل می شود.

در این پایان نامه به بررسی پرتوهای کیهانی گواهی بر منشأ ابرنواختری پرتوهای کیهانی کهکشانی می پردازیم برخلاف بعضی از محققین که آشکارسازی منشاء ابرنواختری پرتوهای کیهانی را در ناحیه پرتوهای گاما مورد سؤال قرار می دهند و گامای مشاهده شده را حاصل از پدیده های دیگری می دانند، با محاسبه طیف پرتوهای کیهانی با فرض دو الگو ابرنواختری آکسفورد و

---

1. *Knee*
2. *Ankle*

برزکو[1] و انتشار ذرات در محیط های نا همگن پیشنهادی لاگوتین و همکاران[۱] روشی بر تأیید مشاهده پذیر بودن منشأ ابرنواختری کهکشانی پرتوهای کیهانی در ناحیه پرتو گاما ارائه می شود.

۱-۲ فیزیک هسته‌ای و نجوم انرژی‌های بالا

فیزیک هسته‌ای در خیلی از شاخه‌های نجوم دارای اهمیت است (به‌طور خاص در فهم فرآیندهای تولید انرژی در ستارگان). شاید تعجب‌آور باشد که ما در مورد این مسئله خیلی ساده به بحث می‌پردازیم، زیرا در این حالت‌ها فرآیندهای هسته‌ای در اعماق ستارگان، جایی که محصولات ترکیب هسته‌ای[2] عموماً به‌طور کاملاً غیرمستقیم قابل مشاهده‌اند، رخ می‌دهند.

یک توضیح واضح برای این عبارت مشاهدات نوترینوها از خورشید و ابرنواختر *SN ۱۹۸۷a* هستند. ما توجه خود را در این بخش به فرآیندهای هسته‌ای محدود می‌کنیم که در آن‌ها محصولات فعالیت‌های هسته‌ای مستقیماً قابل مشاهده‌اند، ما به سطح مقطع‌ها برای مطالعه‌ی واکنش‌های تلاشی[3] ذرات پرانرژی در محیط میان ستاره‌ای و همچنین سطح مقطع‌های تولید و نیمه‌عمرهای هسته‌های رادیواکتیو[4] تولید شده در فرآیندهای تلاشی و در منابع مواد به‌تازگی ترکیب شده مانند پسماندهای ابرنواخترها نیاز داریم. ابتدا به حالت برهم‌کنش‌های هسته‌ای وابسته به برهم‌کنش‌های ناکشسان پروتون های پرانرژی و هسته‌ها می‌پردازیم.

---

1. *Axford & Berezhko Models*
2. *Nucleosynthesis*
3. *Spallation Reactions*
4. *Radionuclides*

برهم‌کنش‌های هسته‌ای تنها زمانی مهم‌اند که ذرات پرانرژی فرودی دارای برخوردی کمابیش مستقیم به هسته باشند. این به دلیل آن است که نیروهای برهم‌کنشی قوی که هسته ها را نگه می‌دارند نیروهای کوتاه برد هستند[۲].

۱-۲-۱ پروتون های پرانرژی

تصویر عمومی برهم‌کنش یک پروتون پرانرژی با یک هسته را می‌توان با قوانین تجربی زیر نشان داد.

(الف) پروتون به‌شدت با یک هستک در یک هسته برخورد می‌کند، در برخورد، پایون‌هایی از تمام بارها π^+، π^-، π^0 محصولات عمده هستند. ذرات غیرمتجانس[1] و همچنین تصادفاً آنتی‌هستک‌ها[2] نیز ممکن است تولید شوند.

(ب) در چهارچوب مرجع مرکزجرم برخورد پروتون- هستک، پایون‌ها اکثراً در جهات روبه‌جلو و روبه‌عقب ساطع می‌گردند.

(ج) هستک‌ها و پایون‌ها همگی در چهارچوب آزمایشگاهی دارای حرکت روبه جلوی بسیار شدیدی می‌باشند و بنابراین با انرژی‌های بسیار بالایی از برهم‌کنش خارج می‌شوند.

---

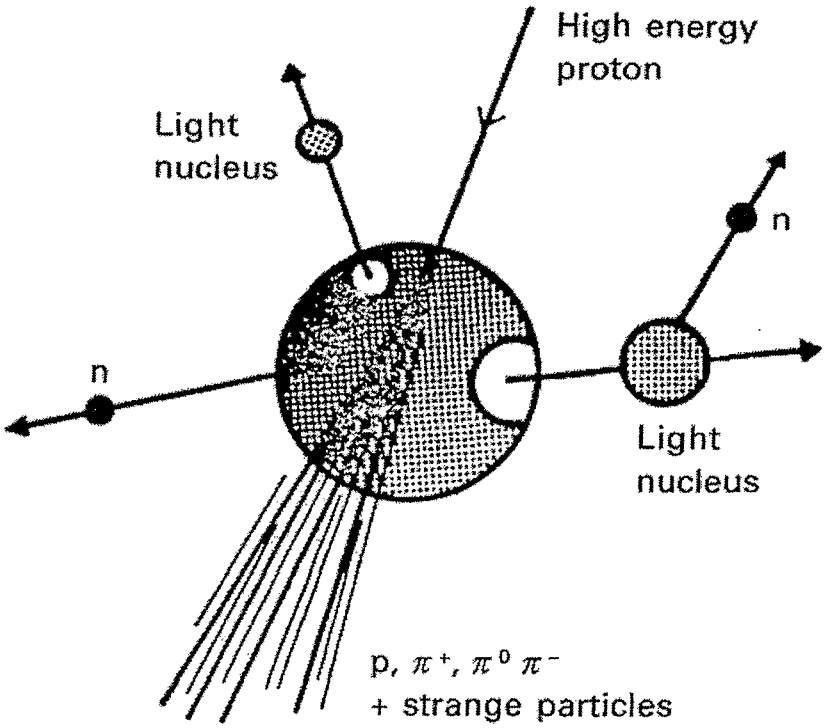
1. Strange particles
2. Antinucleones

(د) هر یک از ذرات ثانویه قابلیت این را دارد که منجر به یک برخورد دیگر در داخل همان هسته گردد، البته مستلزم این است که برخورد اولیه به‌میزان کافی نزدیک به "لبه‌ی جلویی"[1] هسته رخ دهد. به‌این ترتیب یک آبشار کوچک[2] داخل هسته آغاز می‌گردد.

(هـ) تنها یک یا دو هستک در برهم‌کنش با ذرات پرانرژی شرکت می‌کنند، اما آنها عموماً از هسته خارج می‌شوند و آن را در یک حالت بسیار برانگیخته رها می‌کنند و هیچ تضمینی وجود ندارد که هسته‌ی حاصل یک نمونه‌ی پایدار باشد. آنچه اغلب اتفاق می‌افتد این است که قطعاتی از هسته بخار می‌شوند که این قطعات را قطعات تلاشی[3] می نامند. این قطعات در چهارچوبی ساطع می‌گردند که در برخورد هسته‌ای به آن مومنتوم روبه‌جلوی زیادی داده نشده است، به‌طور مجازی تمام آن قطعات منجر به خارج کردن هستک‌هایی می‌شوند که با ذره‌ی پرانرژی برهم‌کنش کرده‌اند. بنابراین، این قطعات تلاشی، کمابیش در چهارچوب آزمایشگاهی به‌طور همسانگرد ساطع می‌گردند. نوترون‌ها نیز از هسته هایشان تبخیر می‌گردند و نوترون‌های دیگری نیز ممکن است از قطعات تلاشی آزاد شوند. به یاد داشته باشید که برای هسته‌های سبک، هرگونه عدم تعادل بین تعداد نوترون‌ها و پروتون ها مهلک است. این فرآیندها به شکل یک نمودار در شکل ۱-۱ خلاصه شده‌اند. بنابراین آشکار است که در برخوردهای پرانرژی، پایون‌ها در یک مخروط نسبتاً باریک تجمع یافته‌اند که یک اندازه‌ی تقریبی از انرژی ذره‌ی پرانرژی اولیه به ما می‌دهد.

---

1. "front edge"
2. Mini-cscade
3. Spallation fragments



شکل۱-۱: یک نمودار الگووار در حال نمایش محصولات اصلی از برخورد پروتون انرژی بالا با یک هسته

از سطح مقطع بالا برای برهم‌کنش ذره‌ی پرانرژی با هسته، به یک روش ساده می‌توان نشان داد که مسافت پویش آزاد یک پروتون پرانرژی در جو حدود $۸۰۰ \text{kg m}^{-۲}$ است، یعنی بسیار کمتر از عمق اتمسفر که حدود $۱۰۰۰۰ \text{kg m}^{-۲}$ است. در واقع، به این دلیل که پروتون اغلب پس از برهم‌کنش با انرژی کمتری بقا خواهد داشت، شار پروتون هایی با یک انرژی خاص نسبتاً بسیار آهسته‌تر از این افت می‌کند و برای ذراتی با یک انرژی معلوم، چگالی تعداد پروتون‌ها به‌شکل $exp(-x/L)$ افت می‌کند که در آن $L=۱۲۰۰ \text{ kg m}^{-۲}$ است.

برای پروتون هایی با انرژی های بزرگ تر از $1GeV$، یک قانون تجربی مفید این است که در برخورد با هسته‌های هوا به‌طور غیردقیق $2E^{1/4}$ ذره‌ی باردار پرانرژی جدید، در برخورد تولید می‌گردد، که در آن E برحسب گیگاالکترون‌ولت اندازه‌گیری می‌شود، گرچه نه الزاماً تمام آن‌ها پایون هستند. پایون‌هایی از همه‌ی بارها به تعداد تقریباً مساوی تولید می‌گردند مگر در انرژی‌های کوچک که در آن‌ها بقای بار متوجه تولید پایون‌های با بار مثبت π^+ است[۲].

۱-۲-۲ هسته‌های پرتوهای کیهانی

غیرعادی‌ترین وقایع زمانی رخ می‌دهند که هسته‌ی پرانرژی با دیگر هسته‌های سنگین برهم‌کنش می‌کند، به عنوان مثال می توان برهمکنش با هسته‌های اکسیژن و نیتروژن اتمسفر یا با اتم های یک امولسیون هسته‌ای را ذکر کرد. درچنین برخوردهایی، چندین جفت هسته دچار برخوردهای تولید پایون می‌گردند و چیز زیادی از هسته‌های هدف باقی نمی‌ماند. البته این یک رخداد واقعا نادر است، برخوردهای خراشان بیشتر عمومیت دارند و در این حالات تنها هستک‌های اندکی برهم‌کنش می‌کنند تا یک آبشار[1] از پایون ها را تولید کنند. علاوه بر این، به‌هرحال باقی‌مانده‌ی هسته‌ای در یک حالت برانگیخته رها شده است و هردو باقیمانده‌های تلاشی مانند پروتون ها و نوترون‌ها را ساطع می کنند. این مسئله از چند نقطه نظر بسیار حائز اهمیت است. اول، باقیمانده‌های پرانرژی می‌توانند به آبشارهای جداگانه‌ای گسترش یابند و در انرژی‌های بسیار بالای پرتوهای کیهانی $E>10^{17}eV$، مشاهده می‌شود که بعضی از آبشارها که تا سطح زمین نفوذ

1. Shower

می‌کنند، چند هسته‌ای[1] هستند؛ این ممکن است به‌واسطه‌ی شکست یک هسته‌ی بسیار پرانرژی باشد. دوم این که سازوکار محصولات تلاشی با انرژی‌های بسیار بالا تولید می‌کند. این یک موضوع بنیادین در مطالعه‌ی انتشار هسته‌های ذرات کیهانی در محیط میان ستاره‌ای است. به این ترتیب تعیین سطح مقطع‌ها برای تولید محصولات متعدد تلاشی از اهمیت ویژه ای برخوردار است[۲].

۱-۲-۳ سطح مقطع‌های تلاشی

بهترین راه برای تعیین سطح مقطع‌های تلاشی انجام آزمایشاتی با ذرات پرانرژی در شتاب‌دهنده‌ها و اندازه‌گیری مستقیم سطح مقطع‌های تولید از این آزمایش‌ها، به صورت تابعی از انرژی است. مسئله این است که برای مقاصد فیزیک نجومی به گستره‌ی عظیمی از انواع ذرات و انرژی‌های آنها علاقه مندیم. به هر حال، پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در تخمین این سطح مقطع‌ها برای اکثر انواع مهم رخ داده است.

سه تقریب برای تعیین این سطح مقطع‌ها وجود دارد. اولی تعیین کاملاً تجربی سطح مقطع‌ها برای برهم کنش‌های مختلف است. در این آزمایش‌ها، پروتون ها به سمت مواد هدف شلیک می‌گردند و در این حالت انرژی پروتون برابر با همان انرژی بر هستکی است که هسته‌ی هدف در چهارچوب سکون پروتون، دارا می‌باشد. با توجه به این که هیدروژن عنصر عمده‌ی موجود در

1. *Multi-cored*