

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فیزیک

پایان نامه تحصیلی جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش نجوم

شار آنتی پروتون های پرتوهای کیهانی در محیط بین ستاره ای فراکتالی

استاد راهنما:

دکتر سید جلیل الدین فاطمی

استاد مشاور:

دکتر حمید ارجمند کرمانی

مؤلف:

مریم مهدیزاده گزویی

مردادماه ۱۳۹۲

تقدیم به :

همسر

و

فرزندان عزیزم (رقیه و محمد مهدی)

که همواره در مدت تحصیل من ، یار و پشتیبان من بودند.

از خداوند می خواهم که همیشه سالم و موفق باشند.

تقدیر و تشکر :

سپاس و ستایش خدای یگانه و مهربان را که با الطاف بیکران خود باز هم به من عنایت داشت و به من کمک کرد تا پس از سالها فراغت از تحصیل باز بتوانم تحصیلات خود را ادامه دهم و مسیرها را جهت طی این مرحله از زندگیم برایم هموار نمود.

از جناب آقای دکتر فاطمی که در تمامی مراحل این پایان نامه دلسوزانه به من کمک کردند بسیار سپاسگزارم و امیدوارم همیشه در پناه الطاف الهی باشند. از آقای دکتر بلوری زاده و آقای دکتر جلال کمالی که داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند کمال تشکر را دارم. از آقای دکتر دوست محمدی که بدون هیچ گونه چشم داشتی در بسیاری از مراحل پایان نامه مرا یاری نمودند تشکر می نمایم از خداوند توفیق روز افزون ایشان را خواهانم.

در پایان از خانواده ام که در مدت تحصیل من صبوری نمودند، از قصور من گذشتند و یاریم نمودند تا با کمترین دغدغه این دو سال را پشت سر بگذارم تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده :

در میان ضد ذرات موجود در پرتوهای کیهانی آنتی پروتون ها اهمیت ویژه ای دارند. سهم عمده ای از آنتی پروتون ها از برخورد پرتوهای کیهانی با محیط میان ستاره ای تولید می شوند. علاوه بر این محصولات ثانویه، آنتی پروتون های با منشأ اولیه نیز مورد توجه بسیارند مانند نابودی ماده تاریک، تبخیر حفره های سیاه اولیه و آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی. محاسبه طیف انرژی آنتی پروتون های ثانویه مارا به منابع این ذرات رهنمون می شود. در این پایان نامه با توجه به سطح مقطع های موجود برخورد پروتون - پروتون، ابتدا شار آنتی پروتونهای ثانویه در محیط همگن میان ستاره ای محاسبه می شود و سپس با اعمال اثر نسبت زمان انتشار پرتوهای کیهانی در محیط میان ستاره ای غیر همگن فراکتالی به محیط همگن، اضافه شار آنتی پروتون های ثانویه و سپس تخمینی از میانگین شار آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی و نیز حاصل از تبخیر حفره های سیاه اولیه محاسبه می گردد. در ادامه نسبت شار آنتی پروتون های کهکشانی و ماوراء کهکشانی به پروتون های پرتوهای کیهانی به عنوان دلیلی بر موضوع عدم تقارن ماده و ضد ماده در عالم و همچنین چگالی انرژی آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی محاسبه می شود. چگالی انرژی آنتی پروتونهای ماوراء کهکشانی محاسبه شده با نوسانات چگالی انرژی تابش میکروموج زمینه کیهانی برابر است.

کلید واژه: پرتوهای کیهانی، پادپروتونهای کهکشانی و ماوراء کهکشانی، محیط بین ستاره ای فراکتال، سیاهچاله های اولیه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	مقدمه

فصل اول: پرتوهای کیهانی و آنتی پروتون ها

۴.....	۱-۱- پرتوهای کیهانی
۵.....	۲-۱- تاریخچه کشف پرتوهای کیهانی
۵.....	۳-۱- ترکیبات جرمی
۶.....	۴-۱- طیف انرژی پرتوهای کیهانی
۸.....	۵-۱- پرتوهای کیهانی کهکشانی و فراکهکشانی
۹.....	۶-۱- بهمن های گسترده
۹.....	۷-۱- ضد ذره
۱۰.....	۸-۱- تاریخچه ضد ذره
۱۲.....	۹-۱- آنتی پروتون
۱۳.....	۱-۹-۱- حفره های سیاه
۱۶.....	۲-۹-۱- ماده تاریک
۱۸.....	۱۰-۱- عدم تقارن ماده و ضد ماده در عالم
۱۸.....	۱۱-۱- تابش زمینه کیهانی
۲۰.....	۱۲-۱- تاثیر ماده تاریک بر زمینه میکروموج کیهانی

فصل دوم: محیط فراکتال میان ستاره ای

۲۳.....	۱-۲- محیط میان ستاره ای
۲۳.....	۱-۱-۲- هیدروژن خنثی
۲۳.....	۲-۱-۲- هیدروژن مولکولی
۲۴.....	۳-۱-۲- هیدروژن یونیزه
۲۵.....	۴-۱-۲- محیط گرم بین ابری و تاج گازی
۲۵.....	۵-۱-۲- عناصر و مولکولهای دیگر در فضا
۲۵.....	۲-۲- دیسک کهکشانی غیر یکنواخت
۲۶.....	۲-۳- محیط فراکتال میان ستاره ای
۲۸.....	۴-۲- بررسی نسبت زمان ابرپخشی به پخش عادی

فصل سوم: محاسبه شار آنتی پروتون ها در محیط همگن میان ستاره ای

- ۱-۳- گرمائز ۳۴
- ۲-۳- سطح مقطع برخورد $p-p$ ۳۵
- ۳-۳- محاسبه نسبت α/p ۳۶
- ۴-۳- محاسبه شار آنتی پروتونهای ثانویه ۳۹
- ۵-۳- محاسبه نسبت شار آنتی پروتونها به پروتونهای کهکشانی ۴۱
- ۶-۳- مقایسه با کارهای قبلی ۴۱
- ۱-۶-۳- داده های تجربی ماهواره پاملا ۴۲
- ۲-۶-۳- مدل های تئوری آنتی پروتونهای ثانویه ۴۵
- ۷-۳- مقایسه برازش شار آنتی پروتونهای ثانویه در پخش عادی و ابرپخشی ۴۶

فصل چهارم: محاسبه شار آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی و حاصل از تبخیر

حفره های سیاه اولیه در محیط میان ستاره ای فراکتالی

- ۱-۴- محاسبه اضافه شار آنتی پروتونها ۴۹
- ۲-۴- میانگین شار آنتی پروتونهای حاصل از تبخیر حفره های سیاه اولیه ۵۱
- ۳-۴- محاسبه نسبت شار آنتی پروتونهای ماوراء کهکشانی به پروتونهای کهکشانی ۵۳
- ۴-۴- محاسبه چگالی انرژی آنتی پروتونهای ماوراء کهکشانی ۵۴
- ۵-۴- نوسانات چگالی انرژی تابش زمینه کیهانی ۵۵
- ۶-۴- محاسبه نسبت جرم آنتی پروتونها به پروتونهای کل عالم ۵۷

فصل پنجم: نتیجه گیری

- بحث و نتیجه گیری ۶۰
- منابع ۶۲

پیوست

مقدمه:

پرتوهای کیهانی ذرات باردار زیراتمی هستند که دائما از فضا، زمین را بمباران می کنند. ضد ذرات موجود در پرتوهای کیهانی بسیار اندکند. ذرات کیهانی توسط میدانهای مغناطیسی کهکشانی منحرف می شوند از این رو با توجه به مسیر آنها نمی توان به منابع آنها پی برد. میزان آنتی پروتون های پرتوهای کیهانی نسبت به بقیه ضدذرات بیشتر است و با به دست آوردن طیف انرژی آنها می توان اطلاعات مهمی راجع به منابع آنتی پروتونها کسب کرد.

آنتی پروتونهای پرتوهای کیهانی، اغلب ثانویه هستند یعنی در اثر برخورد پرتوهای کیهانی با محیط میان ستاره ای تولید می شوند. منابع غیر متعارفی مانند تبخیر حفره های سیاه اولیه، نابودی ماده تاریک و یا منابع فراکهکشانی نیز قابل اهمیت هستند.

برای محاسبه طیف انرژی آنتی پروتونهای ثانویه غالبا محیط بین ستاره ای همگن در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه در محیط غیر همگن فراکتالی طول مسیر پیموده شده توسط ذرات کیهانی کوتاهتر است با محاسبه ی نسبت زمان انتشار ذرات در محیط غیر همگن به محیط همگن و تاثیر آن بر شار آنتی پروتون های ثانویه می توان اضافه شار برای آنتی پروتون ها را محاسبه کرد. ما با کمک یک برنامه شبیه سازی شده این ضریب را برای محدوده انرژی (1 GeV تا 1000 GeV) به دست آورده و با تاثیر آن بر روی شار آنتی پروتون ها، اضافه شار را محاسبه نموده ایم. این اضافه شار می تواند شار آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی و یا ناشی از تبخیر حفره های سیاه اولیه باشد.

محاسبه نسبت شار آنتی پروتون های کهکشانی و ماوراء کهکشانی به پروتون های پرتوهای کیهانی و همچنین نسبت جرم آنتی پروتون های کل عالم به پروتون های آن یکی دیگر از اهداف ما در این پایان نامه بوده است. محاسبه این نسبت می تواند برای بررسی موضوع تقارن ماده و ضد ماده در عالم مهم باشد.

در فصل اول به معرفی پرتوهای کیهانی، تاریخچه و ترکیبات جرمی آنها می پردازیم سپس ضد ماده و بالاکس آنتی پروتون و منابع آن در حد لازم توضیح داده میشود. در فصل دوم به معرفی محیط های بین ستاره ای همگن و غیر همگن فراکتالی پرداخته و با استفاده از نموداری که با کمک برنامه شبیه سازی شده رسم شده است نسبت زمان انتشار پرتوهای کیهانی در حالت پخش عادی به حالت ابرپخشی را به دست می آوریم. در فصل سوم با توجه به سطح مقطع های موجود در محدوده 1 تا 1000 گیگا الکترون ولت، شار آنتی پروتون های ثانویه (با ذکر تمامی مراحل) و نسبت شار آنتی پروتون های کهکشانی به پروتون های کهکشانی را به دست می آوریم و با

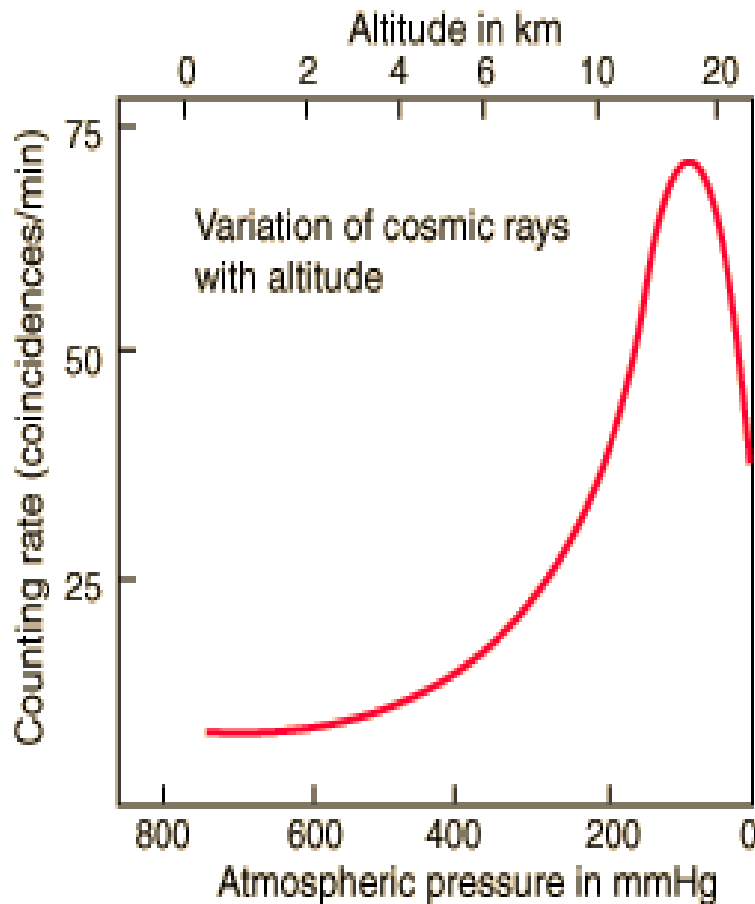
داده های تجربی و تئوری قبلی مقایسه می نمایم. در فصل چهارم با اعمال نسبت زمان انتشار پرتوهای کیهانی در محیط میان ستاره ای همگن به فراکتالی به دست آمده در فصل دوم که تابعی از انرژی ذره کیهانی اولیه است، تاثیر آن بر طیف انرژی آنتی پروتون های ثانویه را بررسی می نمایم و شار احتمالی آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی و نیز آنتی پروتون های حاصل از تبخیر حفره های سیاه اولیه را محاسبه می کنیم. سپس چگالی انرژی آنتی پروتون های ماوراء کهکشانی به دست آمده را با نوسانات چگالی انرژی تابش زمینه میکرو موجی کیهانی مقایسه می کنیم. در نهایت تخمینی از نسبت جرم آنتی پروتون های کل عالم به پروتون های آن به دست می آید. در فصل پنجم نتایج حاصل از این پایان نامه بیان می شود.

فصل ۱

پرتوهای کیهانی و آنتی پروتون

۱-۱- پرتوهای کیهانی

پرتوهای کیهانی^۱ ذرات بارداری هستند که دائماً از فضای ماوراء زمین، جو زمین را بمباران میکنند. این ذرات به جزء در انرژیهای بالا توسط میدان های مغناطیسی کهکشانی منحرف میشوند از این جهت با استفاده از جهت مسیر آنها نمی توان به منابع آنها پی برد. لذا دانشمندان روشهای غیر مستقیمی برای تعیین منابع و مسیرهایی که آنها از میان کهکشان عبور می کنند بکار می گیرند. با استفاده از ترکیبات جرمی و ذرات موجود در پرتوهای کیهانی میتوان اطلاعاتی در مورد منابع احتمالی آنها به دست آورد. شکل (۱-۱) نشان می دهد که شدت پرتوهای کیهانی با ارتفاع افزایش می یابد. شار آنها در حدود ۱۵ km از زمین یک قله دارد و بعد از این ارتفاع، شار کاهش پیدا می کند.



شکل (۱-۱): نمایش تغییرات شار پرتوهای کیهانی با ارتفاع

¹ - cosmic rays

۱-۲- تاریخچه کشف پرتوهای کیهانی

بعد از کشف رادیواکتیویته در سال ۱۸۹۶ عقیده بر این بود که تخلیه الکتروسکوپ و یونش هوا به دلیل عناصر رادیواکتیو در زمین است. ویکتور هس^۱ در سال ۱۹۱۲ طی پرواز به وسیله بالن تا ارتفاع ۵ کیلومتری مشاهده کرد که میزان یونش با ارتفاع افزایش می یابد و نتیجه گرفت که یک تابش خارج از زمین عامل یونش است. رابرت میلیکان^۲ در سال ۱۹۲۵ این پرتوها را پرتوهای کیهانی نامید. به هس به دلیل کشف این پرتوها در سال ۱۹۳۶ جایزه نوبل تعلق گرفت [۱]. میلیکان نشان داد که پرتوهای کیهانی مشاهده شده در سطح زمین نتایج برخوردهای ذرات اولیه در بالای اتمسفر است. او عقیده داشت که پرتوهای کیهانی فوتونهای پرنانرژی و الکترونهای ثانویه ای هستند که به دلیل پراکندگی کامپتون^۳ ایجاد می شوند. در طول سالهای ۱۹۲۷ تا ۱۹۳۷ برخی تحقیقات آزمایشگاهی نشان داد که پرتوهای کیهانی اغلب ذرات باردار مثبت هستند و در سال ۱۹۴۸ مشخص شد که پرتوهای کیهانی علاوه بر پروتون شامل هسته های هلیم و کسر کوچکی عناصر سنگین تر نیز می شود.

۱-۳- ترکیبات جرمی

ترکیبات جرمی پرتوهای کیهانی به نحوه تولید، شتابدهی و انتشار آنها بستگی دارد. بررسی این ترکیبات به شناسایی مبدا این پرتوها کمک می کند. در انرژیهای پایین حدود GeV بیش از ۹۰٪ ذرات کیهانی را پروتون، حدود ۹٪ ذرات α و هسته های سنگینتر حدود ۱٪ الکترون و ۰/۰۱٪ ضدذرات تشکیل می دهند حدود ۰/۲۵٪ عناصر سبکتر مانند لیتیم (Li)، بریلیوم (Be) و بور (B) که از برخورد کربن و اکسیژن در برخوردهای با سرعت بالا با گاز میان ستاره ای ایجاد می شوند. عناصر سنگین تر مانند کروم (Cr)، منگنز (Mn)، تیتانیوم (Ti)، وانادیوم (V) و اسکاندیوم (Sc) که در اثر تلاشی^۴ آهن تولید می شوند نیز در پرتوهای کیهانی دیده می شوند. به این ترتیب می توان ذرات کیهانی را به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد الکترون، پروتون، هلیم، کربن، اکسیژن که توسط اجسام نجومی شتاب می گیرند اولیه هستند و لیتیم، بریلیوم و... ثانویه محسوب می شوند.

^۱-Victor Hess

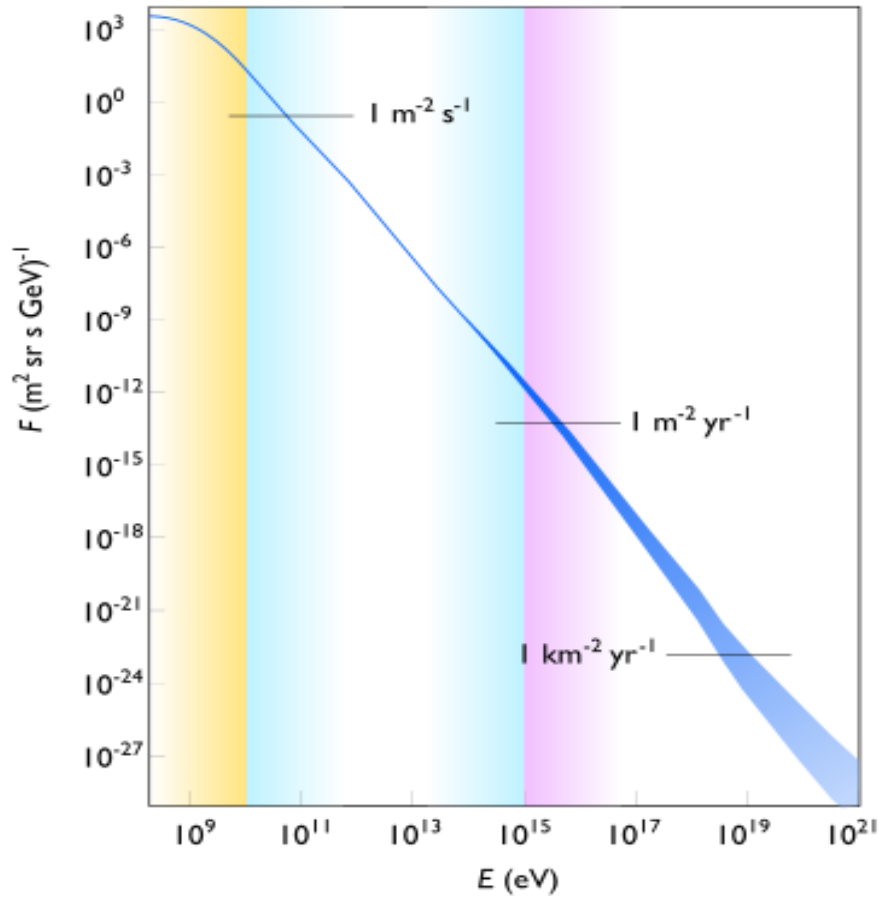
^۲-Robert Millikan

^۳-compton scattering

^۴-spallation

۴-۱ - طیف انرژی پرتوهای کیهانی

شکل (۲-۱) طیف انرژی پرتوهای کیهانی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش انرژی شار پرتوهای کیهانی به شدت کاهش می‌یابد.



شکل (۲-۱): طیف انرژی پرتوهای کیهانی

در این طیف چهار شکستگی وجود دارد: [۲]

10^{15} eV	Knee	زانو
10^{17} eV	Second knee	زانوی دوم
$10^{18.5} \text{ eV}$	Ankle	قوزک
$10^{19.5} \text{ eV}$	Gzk cut-off	قطع Gzk

منشاء این تغییرات ناشناخته است. ولی عقیده بر این است که مکانیسمهای شتاب دهی و تغییر منابع باعث این تغییرات شده است. در انرژیهای پایین تا حدود 10^{15} eV این تغییرات بهتر فهمیده شده است ولی برای پرتوهای کیهانی با انرژیهای زیاد همچنان به صورت رمز باقی مانده است. ذرات قبل از زانو، در کهکشان تولید می شوند و تحت تاثیر میدانهای مغناطیسی کهکشانی منحرف می شوند. ذرات با انرژیهای کمتر از 10 GeV منسوب به طوفانهای خورشیدی هستند. در انرژیهای کمتر از 10^{18} eV منبع مکانیسمهای شتاب دهی منسوب به باقیمانده های ابر نواختری^۱ است. ماکزیم انرژی که ذرات می توانند در این مدل بدون باز شتابگیری کسب کنند از رابطه (۱-۱) قابل محاسبه است. در این رابطه Z تعداد پروتونهای هسته شتاب داده شده است.

$$E_{\max} = Z \times 5 \times 10^{14} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

علت به وجود آمدن زانو را تغییر در ترکیبات جرمی پرتوهای کیهانی و علت به وجود آمدن قوزک را تغییر ناگهانی در منبع این ذرات می دانند. منابع پرتوهای کیهانی با انرژیهای بسیار بالا، فراکهکشانی بوده و منسوب به انفجارات پرتوگاما یا هسته های فعال کهکشانی هستند. در طیف انرژی پرتوهای کیهانی یک قطع در حدود 4×10^{19} eV پیش بینی شده است. این قطع در اثر برخورد پروتونهای پرتوهای کیهانی با فوتونهای زمینه میکروموجی کیهانی و از بین رفتن انرژی آنها پایه گذاری شده است. در سال ۱۹۶۶ بعد از بررسیهای این قطع توسط گریزن^۲، زاتسپین^۳ و کازمین^۴ قطع "GZK" نام گرفت. در برخورد پروتونها با تابش زمینه کیهانی در اثر رزونانس پایون تولید می شود. فرایند تولید پایون ادامه می یابد تا اینکه انرژی پرتوهای کیهانی از آستانه تولید پایون کمتر می شود. مسیر متوسط تخمین زده شده برای این برخوردها 50 Mpc است. این حد را افق رویداد می نامند. در سی سال اخیر پرتوهایی با انرژیهای بیشتر از این قطع آشکارسازی شده است که منابع و مکانیسمهای شتابدهی آنها هنوز ناشناخته است [۱].

شار پرتوهای کیهانی در زمین با قانون معکوس توانی به صورت رابطه (۲-۱) بیان می شود. در این رابطه γ شاخص طیفی نام دارد.

$$dN/dE \sim E^{-\gamma} \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

¹ - Super Nova Remnant

² -Griesen

³ -Zatspein

⁴ -Kuzmin

مقدار آن برای انرژیهای کمتر از زانو (10^{15} eV) حدود $2/8$ و برای انرژیهای بالاتر^۳ در نظر گرفته می شود. N تعداد بهمن های مشاهده شده و E انرژی ذره اولیه است.

۱-۵- پرتوهای کیهانی کهکشانی و فراکهکشانی:

کهکشان راه شیری، یک کهکشان مارپیچی و یکی از میلیاردها کهکشان در عالم و از اعضای گروه کهکشانهای محلی است. این کهکشان متشکل از یک صفحه نواری شکل است که توسط صفحه ای از گاز و گرد و غبار و چهار بازوی مارپیچی به نامهای برسیاوش^۱، قوس^۲، قنطورس^۳ و و ماکیان^۴ احاطه شده است. دیسک کهکشان حدود 100000 تا 120000 سال نوری (30 کیلوپارسک) قطر دارد و ضخامت آن به طور میانگین 1000 سال نوری است. در مرکز این کهکشان یک سیاهچاله کلان جرم با جرم حدود $4/1$ تا $4/5$ میلیون برابر جرم خورشید وجود دارد. خورشید در لبه داخلی بازوی شکارچی و در فاصله 8 تا $8/7$ کیلوپارسک از مرکز کهکشان قرار گرفته است و یکی از 200 تا 400 میلیارد ستاره ی کهکشان راه شیری است. میدانهای مغناطیسی مؤلفه مهمی در محیط میان ستاره ای کهکشان راه شیری هستند و نقش مهمی در تشکیل ستارگان، کهکشانها و خوشه های کهکشانی دارند و در برابر انقباضات گرانشی در محیط میان ستاره ای فشار تعادلی ایجاد می کنند. در مقایسه با دیگر ترکیبات محیط میان ستاره ای، میدانهای مغناطیسی تابش ندارند و این موضوع یک چالش را در بررسی آنها ایجاد می کند. برطبق داده های سینکروترونی و اثر زیمان^۵، میانگین بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی خورشید حدود 6 (μG) و در مرکز کهکشان $40 - 20$ (μG) و در بازوهای مارپیچی $15 - 10$ (μG) تخمین زده می شود.

انتشار پرتوهای کیهانی با انرژیهای کمتر از حدود 10^{15} eV را می توان با مدل ساده جعبه تراوا^۶ بیان نمود. در این مدل ذرات داخل کهکشان توسط انفجارات ابرنواختری شتاب گرفته و به وسیله میدانهای مغناطیسی کهکشانی مقید می شوند. ذرات کیهانی که به دلیل داشتن انرژیهای کمتر در کهکشان حبس می شوند و نمی توانند از آن خارج شوند پرتوهای کیهانی کهکشانی را تشکیل می دهند.

¹ - Perseus arm
² - Sagih arm
³ - Centauns arm
⁴ - Cygnus arm
⁵ - Zeeman splitting
⁶ - Leaky Box

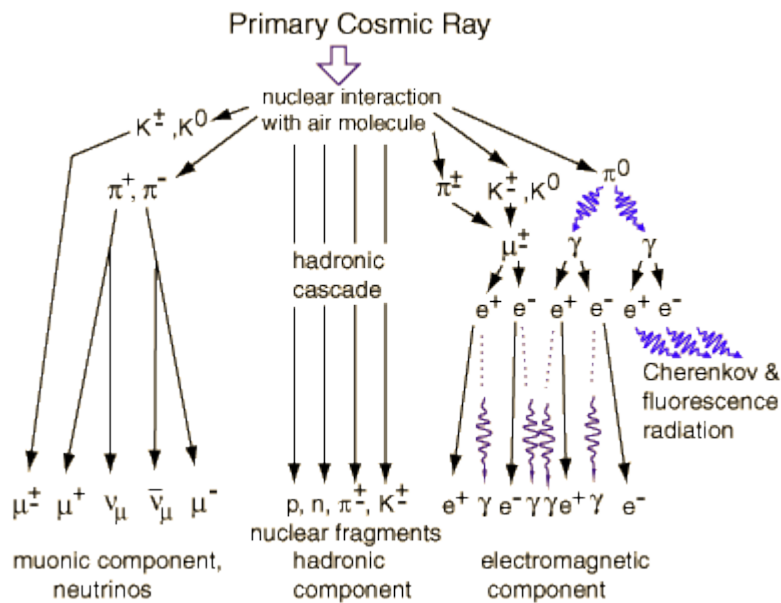
شعاع ژیرومغناطیسی فرمول (۳-۱) به دست می آید که B بزرگی میدان مغناطیسی Z عدد اتمی و c سرعت نور است. E در این رابطه انرژی ذره می باشد.

$$R_1 = \frac{E}{ezcB} \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

رابطه فوق نشان میدهد پرتوهای کیهانی پرنرژی کمتر به کهکشان مقید هستند. اگر ذره به یک انرژی آستانه برسد می تواند از کهکشان فرار کند همچنین هرچه عدد اتمی کمتر باشد نیز شعاع ژیرومغناطیسی بیشتر است و ذره می تواند از کهکشان خارج شود. این ذرات توسط ابرنواخترها و کوازارها در کهکشانهای دیگر شتاب داده می شوند و پرتوهای کیهانی فراکهکشانی^۱ را تشکیل می دهند.

۱-۶- بهمن های گسترده ی هوایی

در اثر برخورد ذرات کیهانی با مولکولهای جو زمین ذرات بنیادی زیادی ایجاد می شود که توسعه این ذرات ثانویه را در جو زمین بهمن گسترده ی هوایی^۲ می نامند. همانگونه که در شکل (۳-۱) مشاهده می شود یک بهمن از سه مؤلفه هادرونی، میونی و الکترومغناطیسی تشکیل شده است.



شکل (۳-۱): بهمن هوایی.

¹ -extragalactic cosmic rays

² -extensive air shower

مؤلفه هادرونی در ناحیه مرکزی بهمن قرار دارد. این بخش برخوردهای هسته ای قوی را شامل می شود و غالباً در این ناحیه پایونها، کایونها، پروتون و نوترون ایجاد می شوند. پایون خنثی به دو گاما تجزیه می شود. این فوتونهای پرنانرژی آبشار الکترومغناطیسی را ایجاد می کنند.

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

پایونهای باردار در مدت کوتاه $0.026 \mu\text{s}$ به میونها و نوترینو تجزیه می شوند و آبشار میونی را می سازند.

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu$$

ومیونها در مدت $2.2 \mu\text{s}$ به الکترون، پوزیترون و نوترینو تجزیه می شوند [۲].

۱-۷- ضد ذره

ضد ذرات ذرات زیر اتمی هستند که از لحاظ جرم، میانگین عمر، اسپین، مقدار ممان مغناطیسی و مقدار بار الکتریکی با ذره خود یکسانند اما دارای علامت بار الکتریکی، پاریته ذاتی، اسپین و جهت ممان مغناطیسی مخالف با ذره خود هستند. در برخورد ذره با ضد ذره اش هردو نابود می شوند و انرژی زیادی تولید میشود. ضد ذرات در فرایندهای تولید جفت ایجاد می شوند. در تجزیه رادیواکتیو و تجزیه β پوزیترون، ضد ذره الکترون، تولید میشود. پرتوهای کیهانی پرنانرژی با اتمسفر زمین برخورد می کنند و ضد ذرات را تولید می کنند. در محیطهایی که دما به اندازه کافی بالاست متوسط انرژی ذرات از آستانه تولید جفت بیشتر است در نتیجه احتمال تولید ذره و پاد ذره وجود دارد. به نظر می آید در آغاز جهان که دما به اندازه کافی بالا و محیط چگال بوده است ماده و ضد ماده دائماً تولید و نابود می شدند. امروزه ضد ماده را با استفاده از شتاب دهنده های بزرگ هادرونی تولید می کنند.

۱-۸- تاریخچه ضد ذره

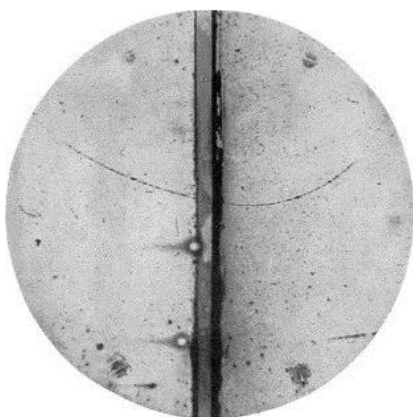
وجود ضد ذرات^۱ اولین بار در سال ۱۹۲۷ توسط پائول دیراک^۲ پیش بینی شد. او برای معادله نسبیت عام انیشتین^۳ جوابهای مثبت و منفی به دست آورد و جوابهای منفی را به ذراتی هم جرم الکترون ولی با بار مخالف نسبت داد. از سال ۱۹۳۰ جستجو برای ضد ذرات شروع شد. در سال

^۱-Anti particle

^۲- Dirac

^۳-Einstein

۱۹۳۲ کارل اندرسون^۱ در کالیفورنیا وقتی ذرات کیهانی را در اتاقک ابر مطالعه می کرد اثر ذرات باردار مثبت را که هم جرم الکترون بودند مشاهده کرد. (اتاقک ابر متشکل از هوا و بخار آب اشباع است در اطراف یونهای تشکیل شده در اثر تابش ذرات باردار حامل انرژی، قطره های آب تشکیل می شود که با نوردهی مناسب می توان مسیر ذره را دید و یا عکسبرداری کرد). اوبعد از یکسال اثرها را به ضد ذره الکترون نسبت داد و آن را پوزیترون نامید. در سال ۱۹۳۶ به کارل اندرسون جایزه نوبل تعلق گرفت. شکل (۱-۴) اتاقک ابر و اثر الکترون، پوزیترون را نشان می دهد.



شکل (۱-۴): اثر الکترون و پوزیترون در اتاقک ابر

جستجو برای ضد ذره پروتون در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ شدیداً ادامه داشت. در اکتبر ۱۹۵۵ ذرات زیراتمی جدید (پروتون با بار منفی) توسط امیلوسگر^۲ ایتالیایی و چمبرلین^۳ کشف شد. در سال ۱۹۵۹ به آنها جایزه نوبل اهدا شد.

یکسال بعد آنتی نوترون نیز کشف شد. این ضدذرات در پیوند با یکدیگر آنتی هیدروژن که واحد پایه برای تولید ضد ماده است ایجاد می کنند. طبق عقیده بعضی از دانشمندان بعد از انفجار بزرگ به طور مساوی ماده و ضد ماده تولید شده پس باید هم اکنون نیز جهان ما متقارن باشد. دیراک با این عقیده موافق بود اما مشاهدات اطراف زمین آن را تایید نکرده است. این مساله یکی از ابهامات جهان هستی است.

^۱ - Carl Anderson

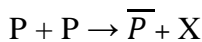
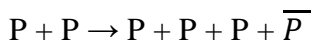
^۲ - Emilio Segre

^۳ - Owen Chamberlain

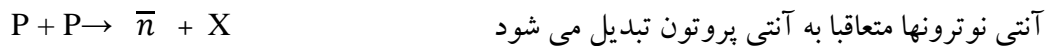
۱-۹- آنتی پروتون

آنتی پروتون^۱ ضد ذره پروتون و ذره ای پایدار است اما هنگامی که با پروتون برخورد کند هر دو به ذراتی ناپایدار با نیمه عمری کوتاه تبدیل می شوند و پس از نابودی انرژی زیادی تولید می کنند. تولید آنتی پروتون نیاز به انرژی زیاد در دمای ۱۰ تریلیون کلوین دارد و به صورت طبیعی رخ نمیدهد. اما در آزمایشگاه سرن دانشمندان پروتونها را به وسیله شتاب دهنده ها به انرژی ۲۹×10^9 الکترون ولت رسانده آنگاه آنها را به درون لوله ای از جنس بریلیم هدایت می کنند. مشاهده شد که پروتونهای شتاب داده شده اتمهای بریلیم را شکافته و انرژی لازم برای تولید ضدذرات را فراهم نمودند. در این فرایند ضدذرات مختلفی ایجاد می شوند که آنتی پروتون را در لوله ی خلا به وسیله نیروی مغناطیسی جدا می کنند.

آنتی پروتونها عمدتاً در اثر برخورد پروتونهای پرتوهای کیهانی با هسته های محیط میان ستاره ای که عمدتاً هسته های هیدروژن هستند تولید می شوند و به آنها آنتی پروتونهای ثانویه گفته می شود. انرژی آستانه برای واکنش اول حدود ۶ گیگا الکترون ولت است [۳].



X نماینده تمام ذراتی است که بسته به انرژی پروتونهایی که با هم برخورد می کنند ممکن است تشکیل شوند.



در ادامه این پایان نامه جهت محاسبه شار آنتی پروتونهای ثانویه که از برخورد پروتون با پروتون به دست می آید با فرض تولید یکسان آنتی نوترون (و پاشی آنتی نوترون به آنتی پروتون) و آنتی پروتون، شار محاسبه شده با اعمال ضریب ۲ خواهد بود.

آنتی پروتون های ثانویه تولید شده به وسیله ی میدان مغناطیسی کهکشانی به دام می افتند و طیف انرژی آنها به دلیل برخورد با اتمهای دیگر محیط میان ستاره ای تغییر می کند. آنتی پروتون ها می توانند منشاء ماوراء کهکشانی داشته باشند. اگر انرژی ذرات به اندازه کافی زیاد باشد طبق رابطه

¹ -Antiproton