



دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه عمق مایل در بهمن‌های گسترده هوایی

توسط:

زهرا عظیمی

استاد راهنما:

دکتر گوهر رستگار زاده

مهر ۱۳۹۰



دانشگاه سمنان

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

موضوع:

مطالعه عمق مایل در بهمن‌های گسترده هوایی

ارائه شده توسط:

زهرا عظیمی

در تاریخ ۱۹ مهر ماه ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

دکتر گوهر رستگارزاده

دکتر حسین غفارنژاد

دکتر مهرداد قمی‌نژاد

۱- استاد راهنما

۲- استاد داور داخلی

۳- استاد مدعو



تقدیم به خواهر عزیزم

ماریا...

قدردانی

من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق

خداوند متعال را سپاسگزارم که توفیق اتمام این نوشته را به بنده عطا فرمود. بر خود لازم می‌دانم صمیمانه‌ترین قدردانی‌های خویش را از تمامی کسانی که در مدت انجام این پایان‌نامه مرا یاری نموده‌اند، بنمایم.

پس از تقدیر از پدر و مادرم که همواره وام‌دار مهرشان هستم، از استاد گرانقدر سرکار خانم دکتر گوهر رستگرازاده که همواره مدیون راهنمایی و کمک‌های ایشان خواهم بود، سپاسگزارم که در تمام مراحل تدوین این مجموعه مرا از همراهی و نظرات روشنگرانه خود بهره‌مند ساختند و چه بسا بیش از آنچه بر عهده ایشان بود، قبول زحمت فرمودند.

فهرست مندرجات

چکیده

فصل ۱: پرتوهای کیهانی

- ۱-۱ مقدمه‌ای بر پرتوهای کیهانی ۱
- ۲-۱ سوالات بنیادی ۳
- ۳-۱ شتاب‌دهی پرتوهای کیهانی ۵
- ۴-۱ مکانیزم شتاب‌دهی فرمی ۶
- ۵-۱ نجوم پرتوهای گامای کهکشانی و فرا کهکشانی ۹
- ۱-۵-۱ هسته‌های فعال کهکشانی ۱۰
- ۲-۵-۱ امواج انفجار ابرنواخترها ۱۲
- ۶-۱ ماهیت پرتوهای کیهانی ۱۳

فصل ۲: بهمن‌های گسترده هوایی

- ۱-۲ تعریف بهمن‌های هوایی ۱۸
- ۲-۲ روش ثبت بهمن هوایی ۲۱
- ۳-۲ ویژگی‌های بهمن هوایی ۲۳
- ۴-۲ روش‌های تجربی تعیین X_{max} ۲۳
- ۵-۲ تولید ثانویه‌های جوی ۲۶
- ۶-۲ میون ۲۷

۲۸.....	۷-۲ بررسی مولفه‌های بهمن هوایی
۲۸.....	۱-۷-۲ بهمن الکترومغناطیسی
۲۹.....	۲-۷-۲ بهمن هادرونی
۳۰.....	۸-۲ انواع آشکارسازهای بهمن هوایی
۳۰.....	۱-۸-۲ آرایه‌های بهمن هوایی
۳۲.....	۲-۸-۲ آشکارسازهای نور چرنکوف
۳۳.....	۳-۸-۲ دکتورهای فلورسانس
۳۴.....	۹-۲ محاسبه جهت محور بهمن

فصل ۳: ویژگی‌های بهمن‌های هوایی مایل

۳۶.....	۱-۳ تعریف بهمن هوایی مایل
۳۸.....	۲-۳ تعریف بهمن‌های هوایی عمود
۴۱.....	۳-۳ نوترینوی ناشی از بهمن
۴۲.....	۴-۳ توزیع چگالی ذرات بهمن‌های هوایی مایل

فصل ۴: بررسی وابستگی عمق بیشینه و عدم تقارن گسترش طولی بهمن‌های هوایی به عنوان

تابعی از زاویه تابش

۴۷.....	۱-۴ ویژگی بهمن هوایی مایل
۵۲.....	۲-۴ وابستگی گسترش طولی بهمن‌های هوایی به زاویه تابش

۳-۴ وابستگی گسترش طولی بهمن‌های هوایی به پارامتر عدم تقارن ۵۴

فصل ۵: نتیجه‌گیری ۵۷

مطالعه عمق مایل در بهمن‌های گسترده هوایی

چکیده

در این پایان‌نامه وابستگی توسعه طولی بهمن‌های هوایی مایل به زاویه بررسی شده است و با معرفی پارامتر عدم تقارن به مطالعه تغییرات این پارامتر با زاویه تابش در بهمن‌های مایل پرداخته‌ایم. ما نشان داده‌ایم به دلیل اینکه بهمن‌های مایل نسبت به بهمن‌های عمودی مسافت بیشتری را در جو طی می‌کنند و بیشتر تضعیف می‌شوند با افزایش زاویه تابش عمق بیشینه بهمن به سمت مقادیر کمتر میل می‌کند و پارامتر عدم تقارن با افزایش زاویه تابش به سمت مقادیر بیشتر میل می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پرتو کیهانی ، بهمن‌های گسترده هوایی ، پارامتر عدم تقارن.

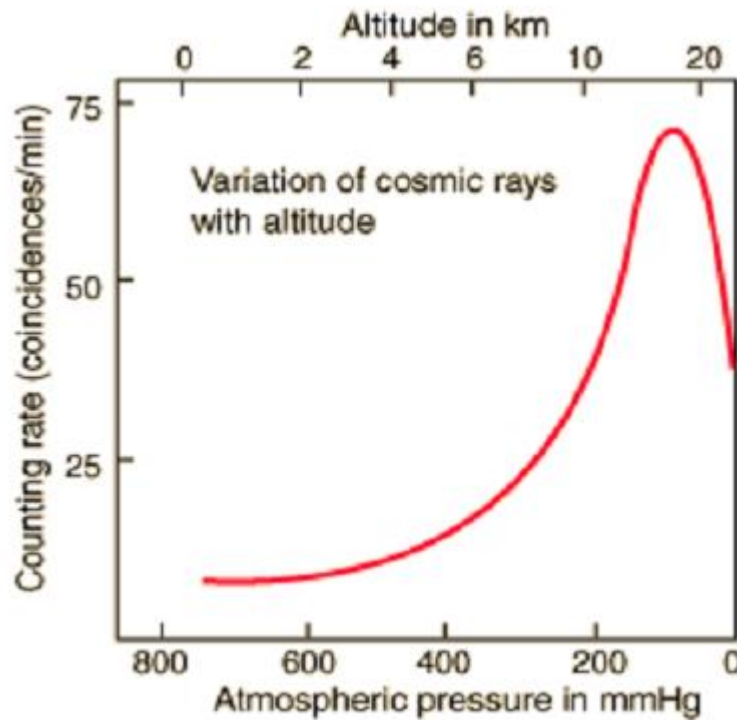
فصل ۱

پرتوهای کیهانی

۱-۱ مقدمه‌ای بر پرتوهای کیهانی

در اوایل قرن بیستم یک پدیده معماگونه نظر دانشمندان را به خود جلب کرد. به نظر می‌رسید تشعشع‌های موجود در محیط بیشتر از حدی است که بتوان آن‌ها را به منابع طبیعی تابش شناخته شده نسبت داد. بعد از بحث‌های فراوان یک دانشمند اتریشی توانست به این سوال تا حدی جواب دهد.

ویکتور هس در سال ۱۹۱۶ به کمک یک بالون به ارتفاع ۱۷۵۰۰ پا پرواز کرد و به کمک یک شمارشگر ذرات، تعداد ذرات را در ارتفاع‌های مختلف اندازه‌گیری کرد. با کمال تعجب مشاهده کرد که تعداد ذرات شمارش شده با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد و این اتفاق بیانگر این واقعیت بود که این ذرات از فضا وارد جو زمین می‌شوند (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱): تغییرات نرخ شمارش ذرات کیهانی

به این ترتیب بود که نام پرتوهای کیهانی برای این ذرات فرودی انتخاب شد.

پرتوهای کیهانی در واقع ذرات بارداری مثل پروتون‌ها و هسته‌های سنگین‌تر هستند [۱] که با آهنگ حدود $1000 \frac{particles}{m^2.s}$ با جو زمین برخورد می‌کنند. این ذرات هسته‌های اتم‌های یونیده هستند که تقریباً ۹۰٪ آن‌ها پروتون، ۹٪ ذرات آلفا و یک درصد باقی مانده نیز هسته‌های سنگین‌تر می‌باشند که عمدتاً هسته‌هایی از نوع کربن و آهن هستند.

میدان مغناطیسی، جو زمین را در برابر پرتوهای کم‌انرژی مثل بادهای خورشیدی و یا پرتوهای کیهانی دیگر چشمه‌ها محافظت می‌کند. البته پرتوهای پراانرژی نیز وجود دارند که از خورشید تابش می‌شوند و به داخل جو زمین نفوذ می‌کنند ولی شار آن‌ها بسیار کم است [۲].

بیشتر پرتوهای کیهانی در محدوده انرژی نسبی هستند، یعنی انرژی آن‌ها در محدوده جرم سکونشان و یا بیشتر است.

پرتوهای کیهانی که دارای انرژی‌های بالاتری هستند، با ورود به جو زمین بهمن هوایی^۱ تولید می‌کنند. بطوریکه این بهمن‌های هوایی دارای سه مولفه اصلی خواهند بود: الکترومغناطیسی، میونی و هادرونی که در ادامه توضیحات بیشتری در این زمینه ارائه خواهد شد.

۲-۱ سؤالات بنیادی

بعضی از ذرات کیهانی دارای انرژی بسیار زیاد می‌باشند، این انرژی گاهی به 10^{20} eV (در حدود ۲۰ ژول) می‌رسد. بنابراین یکی از سؤالات اساسی و بنیادی در فیزیک پرتوهای کیهانی این است که منشا این ذرات تا این سطح انرژی (10^{20} eV) چیست؟ و به طور خاص فرآیند شتاب‌دهی و مکان‌های شتاب‌دهی پرتوهای کیهانی با این انرژی‌های فوق‌العاده زیاد به چه صورت انجام می‌گیرد؟ و آیا این شتاب‌دهنده‌ها در داخل کهکشان راه شیری قرار دارند و یا این که در خارج از کهکشان واقع هستند؟

جواب این سوال هنوز به طور کامل مشخص نشده است، هر چند که می‌دانیم این ذرات از منابع خارج از منظومه شمسی ولی داخل کهکشانی مثل تپ اخترها، دوتایی‌ها و همچنین از بقایای ابرنواخترها نشأت می‌گیرند.

از آنجا که به دلیل میدان مغناطیسی موجود، مشاهده چشمه‌های پرتوهای کیهانی امکان پذیر نیست. تنها راه دنبال کردن پرتوهای کیهانی بررسی ذرات ثانویه‌ای است که در اثر برخورد با جو زمین بوجود می‌آیند. این برخوردها می‌توانند در محیط میان ستاره‌ای یا محیط‌های اطراف چشمه‌های نقطه‌ای اتفاق بیفتند. بنابراین یک راه مناسب برای جستجوی چشمه‌های پرتوهای کیهانی، بررسی پرتوهای گامای ثانویه تولید شده است. فرآیند غالب تولید پرتوهای گاما به شرح زیر است:



از آنجا که پرتوهای کیهانی به علت باردار بودن در میدان‌های مغناطیسی کهکشانی و بین کهکشانی منحرف شده و جهت اولیه خود را از دست می‌دهند، بنابراین نمی‌توان با استفاده از جهت این پرتوها به جهت چشمه تولید کننده آنها پی برد، مگر در انرژی‌های بسیار بسیار بالا که انرژی این ذرات بیش از 10^{19} eV (تقریباً یک ژول) است.

شار پرتوهای کیهانی که تا به حال اندازه گیری شده، تقریباً در همه جهات یکسان است یعنی مستقل از زاویه فضایی و همسانگرد می‌باشد. طیف انرژی پرتوهای کیهانی از یک قانون توانی به صورت زیر تبعیت می‌کند:

¹. air shower

$$\frac{dN}{dE} \left(m^{-2} sr^{-1} s^{-1} GeV^{-1} \right) \approx 1.8 E^{-(1+\gamma)} \quad (2)$$

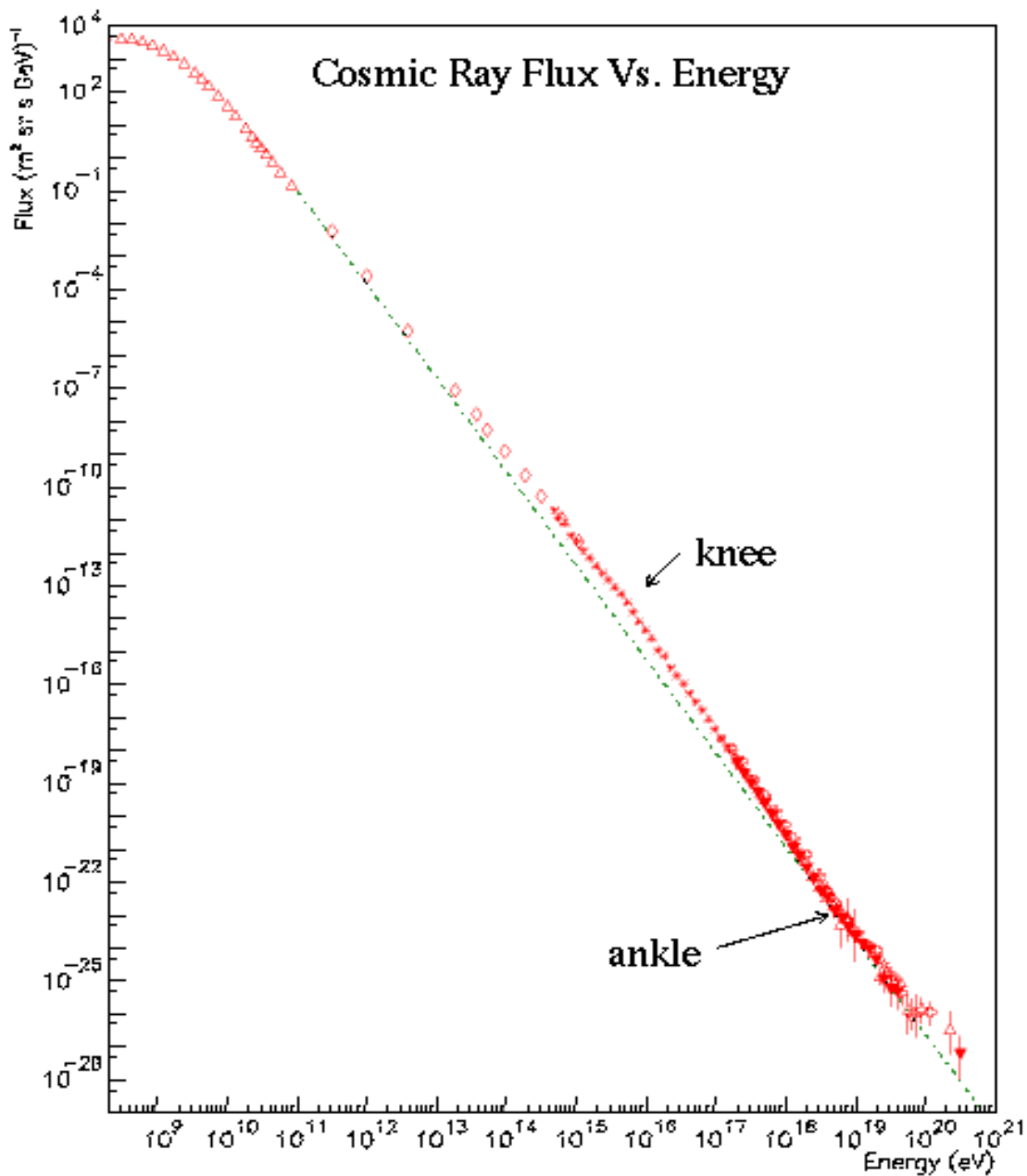
که γ معرف اندیس توان است و برای هر دو ناحیه مختلف، مقدار متفاوتی دارد:

$$\gamma \approx \begin{cases} 1.7 & E < E_{knee} \\ 2 & E > E_{knee} \end{cases} \quad (3)$$

همانطور که در شکل دیده می‌شود هر چه انرژی افزایش می‌یابد، شار ذرات کم می‌شود و این کاهش انرژی به صورت نمایی است. در شکل دو نقطه شکست دیده می‌شود، نقطه شکست اول که در انرژی 10^{15} eV اتفاق می‌افتد و به زانوی منحنی^۱ معروف است و نقطه شکست دوم که در انرژی 10^{18} eV رخ می‌دهد و به قوزک منحنی معروف^۲ است.

نظریه‌های مختلفی برای توجیه این نقاط شکست وجود دارند، نقطه شکست اول را به یک نوع فرآیند شتاب‌گیری نسبت می‌دهند و قوزک منحنی را به ذرات ماورای کهکشانی نسبت می‌دهند، یعنی این که چشمه این ذرات در کهکشان‌های دیگر است.

¹. Knee
². Ankle



شکل (۱-۲): شار پرتوهای کیهانی بر حسب انرژی

۳-۱ شتابدهی پرتوهای کیهانی

چنانکه دیدیم از مهمترین پرسش‌هایی که در اخترفیزیک انرژی‌های زیاد با آن مواجه هستیم، چگونگی شتاب گرفتن ذرات کیهانی و رسیدن به انرژی‌های فوق‌العاده زیاد است. آیا شتابدهی در مقیاس‌های بزرگ در کهکشان‌ها رخ می‌دهد یا در چشمه‌های نقطه‌ای؟ اکنون می‌دانیم که در منظومه خورشیدی خودمان هر دو صورت این فرآیندها روی می‌دهد. آزمایش‌هایی که با ماهواره‌ها و ابزارهای فضایی انجام شده، نشان می‌دهند

که در امواج ضربه‌ای اطراف زمین و در امواج ضربه‌ای دیگری که ناشی از بادهای خورشیدی هستند، ذرات به انرژی‌های ابرگرمایی از KeV تا MeV می‌رسند. از طرفی، شواهدی بر شتاب گرفتن ذرات تا انرژی GeV در شراره‌های خورشیدی وجود دارند. در این حالت علاوه بر مشاهده خود ذرات در فضای بین ستاره‌ای و در زمین، پایون‌های خنثی و نوترینوهای ناشی از اندرکنش این ذرات نیز مشاهده شده‌اند. برای پرتوهای کیهانی کهکشانی نیز که امکان مشاهده آن‌ها در محل چشمه نیست، فقط می‌توان ذرات خنثای ثانوی ناشی از اندرکنش این پرتوها با مواد بین ستاره‌ای و توده‌های گازی اطراف چشمه را مشاهده کرد. به دلیل وجود میدان‌های مغناطیسی در سراسر کهکشان، ذرات باردار نمی‌توانند مسیر مستقیمی از چشمه تا زمین را طی کنند. به نظر می‌رسد که هم چشمه‌های نقطه‌ای و هم چشمه‌های گسترده سهمی در شتاب دادن به ذرات در کهکشان داشته باشند. بر اساس شار پرتوهای کیهانی که به ما می‌رسد می‌توان چگالی انرژی این پرتوها را محاسبه کرد. این چگالی در حدود $1 \frac{\text{eV}}{\text{cm}^3}$ است.

مهمترین فرآیند شتاب‌گیری ذرات ثانویه به روش مکانیزم فرمی انجام می‌پذیرد که به صورت زیر می‌باشد.

۱-۴ فرآیند شتاب‌دهی فرمی

فرآیند فرمی روشی برای شتاب‌گیری ذرات باردار است که توسط یک پلاسمای مغناطیسی متحرک انجام می‌شود. فرآیندی را در نظر بگیرید که در هر برخورد ذره مورد نظر یک انرژی متناسب با انرژی خودش کسب کند. بنابراین، اگر در هر برخورد $\Delta E = KE$ باشد، بعد از n امین برخورد داریم:

$$E_n = E_0(1 + K)^n \quad (4)$$

که در آن E_0 انرژی اولیه ذره است که به شتاب‌دهنده تزریق می‌شود. اگر احتمال فرار ذره از ناحیه شتاب‌گیری در هر برخورد P_{esc} باشد، احتمال باقی ماندن آن در ناحیه شتاب‌گیری بعد از n برخورد، برابر $(1 - P_{\text{esc}})^n$ است. از طرفی با استفاده از معادله (۴)، تعداد برخوردهای لازم برای رسیدن انرژی ذره به E برابر است با:

$$n = \ln\left(\frac{E}{E_0}\right) / \ln(1 + k) \quad (5)$$

بنابراین، تعداد ذراتی که به انرژی‌های بیشتر از E شتاب گرفته‌اند برابر است با:

$$N(\geq E) \propto \sum (1 - P_{\text{esc}})^m = \frac{(1 - P_{\text{esc}})^n}{P_{\text{esc}}} \quad (6)$$

که در آن n از رابطه (۵) به دست می‌آید. با جایگزین (۵) در (۶) داریم:

$$N(\geq E) \propto \frac{1}{P_{\text{esc}}} \left(\frac{E}{E_0}\right)^{-\gamma} \quad (۷)$$

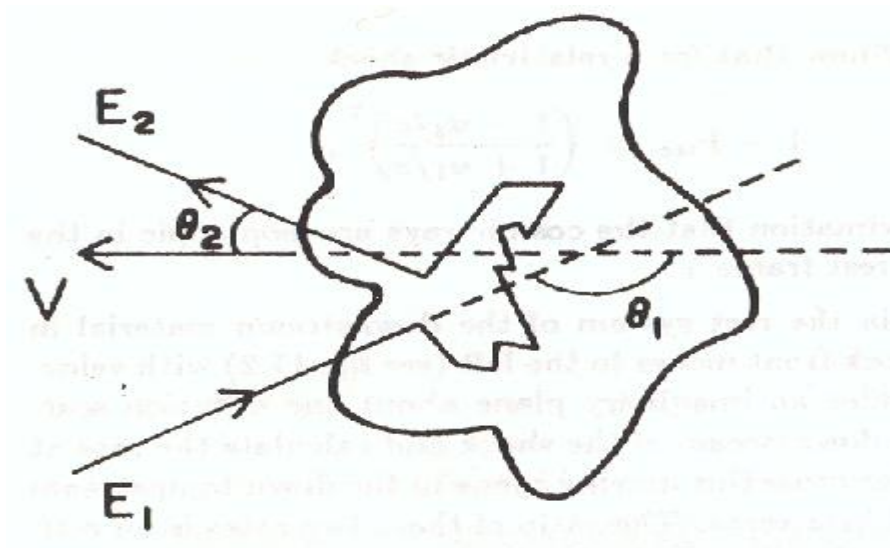
که در آن γ برابر است با:

$$\gamma = \ln\left(\frac{1}{(1 - P_{\text{esc}})}\right) \ln(1 + K) \approx \frac{P_{\text{esc}}}{K} = \frac{1}{K} \frac{T_{\text{cycle}}}{T_{\text{esc}}} \quad (۸)$$

فرآیند فرمی منجر به قانون توانی طیف انرژی می‌شود. در معادله (۸) T_{cycle} ، زمان ویژه چرخه شتاب‌گیری و T_{esc} ، زمان ویژه فرار از ناحیه شتاب‌گیری معرفی شده است. نسبت این دو زمان، احتمال فرار در هر برخورد را در ناحیه شتاب‌گیری نشان می‌دهد. اگر فرآیند شتاب‌گیری در زمان t انجام شود، $n_{\text{max}} = \frac{t}{T_{\text{cycle}}}$ خواهد بود و در نتیجه داریم:

$$E \leq E_0(1 + K)^{\frac{t}{T_{\text{cycle}}}} \quad (۹)$$

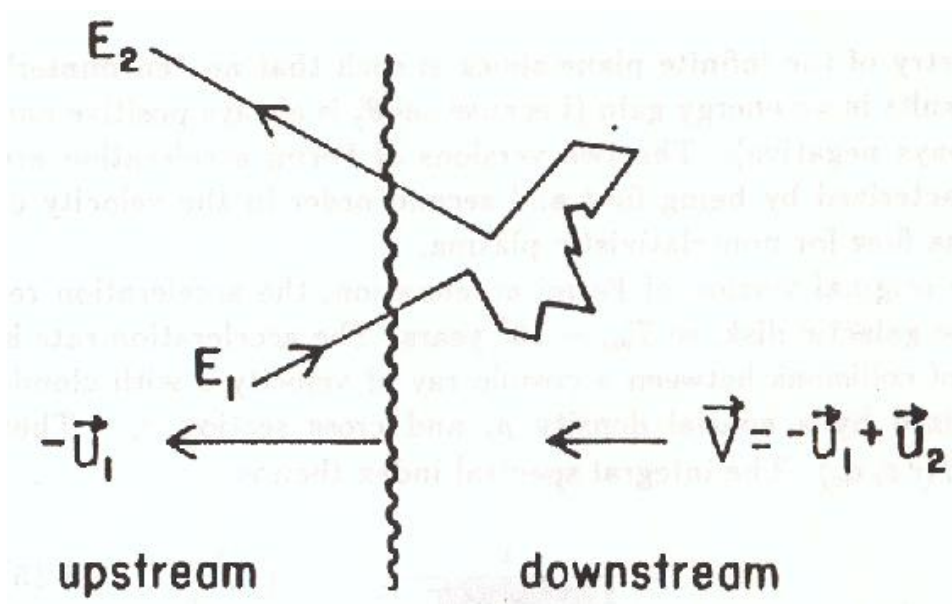
از معادله (۹) دو نکته دریافت می‌شود. اولاً، ذرات با انرژی بیشتر از E برای شتاب‌گیری زمان بیشتری لازم دارند. ثانیاً، اگر یک شتاب‌دهنده فرمی خاص دارای یک حد زمانی بالا مثل T_A باشد، در این صورت می‌توان با ماکزیمم انرژی‌ای که هر ذره به دست می‌آورد، آن را تعیین کرد. برای این کار در معادله (۹) به جای t مقدار T_A را قرار می‌دهیم، البته به شرطی که T_{cycle} مستقل از انرژی باشد.



شکل (۳-۱): شتاب‌دهی فرمی مرتبه اول به وسیله ابر پلاسمای در حال حرکت

در فرآیند شتاب‌دهی فرمی مرتبه اول مطابق شکل (۳-۱) ذره باردار با زاویه θ_1 وارد پلاسمای در حال حرکت می‌شود و پس از چندین برخورد در داخل ابر، با زاویه θ_2 از آن خارج می‌شود. اگر ابر ملکولی با سرعت $\beta = v/c$ در حال حرکت باشد (سرعت ابر ملکولی است). آنگاه ضریب متوسط $K = \Delta E/E$ برابر $K = \frac{4}{3} \beta^2$ خواهد شد.

در فرآیند شتاب‌دهی فرمی مرتبه دوم مطابق شکل (۴-۱)، ذره باردار با زاویه θ_1 که با سرعت $\beta = v/c$ حرکت می‌کند، وارد جبهه موج ضربه می‌شود و با زاویه θ_2 از آن خارج می‌شود. در اینجا جبهه با سرعت $-u_1$ حرکت می‌کند، گاز، بعد از عبور موج ضربه، با سرعت نسبی u_2 از آن دور می‌شود، بنابراین گاز پشت موج ضربه در دستگاه آزمایشگاه با سرعت $V = -u_1 + u_2$ حرکت خواهد کرد. آنگاه ضریب متوسط $K = \Delta E/E$ برابر $K = \frac{4}{3} \beta$ خواهد شد.



شکل (۴-۱): شتاب‌دهی در جبهه موج ضربه

بررسی هر دو فرآیند نشان می‌دهد که شتاب‌دهی توسط موج ضربه فرمی، ذره باردار را به انرژی‌های بالاتری می‌رساند.

بنابراین یون‌های بین ستاره‌ای، ممکن است در نتیجه برخوردهای کشسان با ابرهای پلاسمای مغناطیس شده، یا در نتیجه برخورد با امواج ضربه‌ای هیدرومغناطیسی شتاب بگیرند (شتاب‌گیری فرمی مرتبه اول و دوم). به نظر می‌آید که منابع منفرد، شتاب‌دهندگان موثرتری باشند. در بقایای ابرنواخترها، الکترون‌ها تا سرعت‌های

نسبیتی شتاب می‌گیرند بنابراین احتمال زیادی وجود دارد که یونها نیز توسط همین مکانیزم شتاب بگیرند. البته با تشخیص ستارگان نوترونی در بقایای ابرنواخترها، تب اخترها به نامزدهای پیشتازی برای شتاب دادن به پرتوهای کیهانی تبدیل شده‌اند.

مشاهده دائمی افزایش دوره تناوب تب اخترها (یعنی کاهش انرژی دورانی ستارگان نوترونی) با این عقیده که تب اخترها منابع پرتوی کیهانی هستند، هماهنگی دارد. اما باید تصریح کرد که هیچکدام از این مکانیزمها نمی‌تواند انرژی پرتوهای کیهانی بیش از چند GeV را توصیف کند.

رصدخانه Fly's Eye در Utah در سال ۱۹۹۱ یک پرتوی کیهانی با انرژی $3/2 \times 10^{20}$ eV آشکار کرد، محققین این رصدخانه با این مشاهده گیج و سردرگم ماندند، زیرا آنها معتقد بودند که این ذرات به دلیل برخورد با تابش میکروموجی به سرعت انرژی‌شان را از دست می‌دهند. بنابراین، ذرات خیلی پر انرژی، رازی را در کیهان مطرح می‌کنند که باعث یک همکاری جهانی برای طراحی یک آشکارساز جدید و وسیع شده است که به رصدخانه Pierre Auger معروف است.

همچنین رصدخانه AGASA^۱ در سوم دسامبر ۱۹۹۳ یک بهمن هوایی بسیار بزرگی را ثبت کرد. این رویداد بسیار خاص با دقت اندازه‌گیری شد، چون احساس می‌شد که کاملاً در داخل آرایه قرار دارد و تقریباً از جهت قائم وارد شده است. این بهمن از یک پرتوی کیهانی با انرژی ای در حدود 2×10^{20} eV ایجاد شده بود. به هر حال این رصدها نشان می‌دهند که اطلاعات ما در این محدوده هنوز خیلی کم است و باید کارهای بیشتری برای فرآیند تولید ذرات پر انرژی انجام گیرد.

۱-۵ نجوم پرتوهای گامای کهکشانی و فراکهکشانی

پرتوهای گاما هم بستگی تنگاتنگی با پرتوهای کیهانی دارند، به طوری که بخشی از پرتوهای گاما ناشی از تابش سینکروترون^۲ ذرات باردار در حال شتاب‌گیری، بخشی نیز از پراکندگی معکوس کامپتون^۳ و بخش دیگر از واپاشی π_0 ^۴ به وجود می‌آیند. البته فرآیندهای ذکر شده برای تولید پرتوهای گاما، فرآیندهای غالب هستند. یعنی فرآیندهای دیگری نیز وجود دارند که معمولاً در بازه انرژی‌های فوق‌العاده زیاد (UHE و EHE) سهم کمتری دارند، مثل نابودی الکترون - پوزیترون $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$.

^۱. Akeno Giant Air Shower Array

^۲. Synchrotron Radiation

^۳. Inverse Compton

^۴. π_0 Decay

تقریباً ۳۰۰ چشمه تابش پرتو گامای متمرکز (چشمه نقطه‌ای) با انرژی‌های بیش از ۱۰۰ MeV شناخته شده است که ۸ چشمه از آن‌ها در انرژی‌های بیش از ۳۰۰ GeV قرار دارند.

تابش گامای پخشی شامل دو بخش است، کهکشانی [۳] و فراکهکشانی [۴]. مولفه کهکشانی به شدت در صفحه کهکشان، چگالیده شده است و به جز در ناحیه‌ای که شامل بیشترین عرض کهکشانی است، در بقیه موارد نسبت به مولفه فراکهکشانی غالب است. ماهواره کامپتون (CGRO)^۱ تعداد ۲۷۱ چشمه نقطه‌ای پرانرژی تابش گاما را در بازه ۱۰۰ MeV تا ۳۰ GeV توسط آزمایش EGRET^۲ پیشنهاد کرده است [۵]. از ۲۷۱ چشمه نقطه‌ای پرانرژی تابش گاما، تعدادی از آن‌ها شناخته شده است که عبارتند از: هسته‌های فعال کهکشانی (AGN)^۳، انفجارهای تابش گاما (GRB)^۴، بقایای ابرنواختری (SNR)^۵، سیاه‌چاله‌های کهکشانی با جرم بیش از ۱۰ برابر جرم خورشید و تپ اخترها طبیعت دیگر چشمه‌ها به درستی مشخص نشده است. در ادامه مختصری در مورد چشمه‌های شناخته شده توضیح خواهیم داد.

۱-۵-۱ هسته‌های فعال کهکشانی (AGN_s)

تقریباً تعداد کهکشان‌های کیهان در حدود 10^{11} عدد است و تقریباً یک درصد از این کهکشان‌ها هسته‌های فعال دارند، یعنی در حدود 10^9 هسته فعال کهکشانی! تابش خارج شده از این هسته‌های فعال کهکشانی که شامل امواج رادیویی تا تابش‌های گامای فوق‌العاده پرانرژی (UHE) است، بیش از کل تابش ناشی از مابقی کهکشان است.

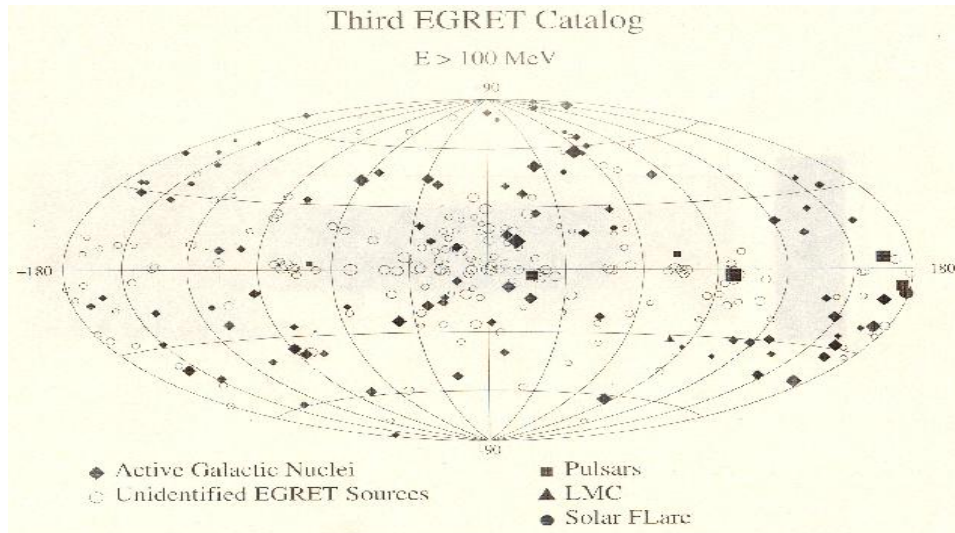
¹. Compton Gamma Ray Observatory

². Energetic Gamma Ray Experiment Telescope

³. Active Galactic Nuclei

⁴. Gamma Ray Burst

⁵. Super Nova Remnant



شکل (۱-۵): نقشه چشمه‌های مشاهده شده در کاتالوگ سوم EGRET

شواهدی وجود دارد که حاکی از این است که AGN ها عمده انرژی‌شان را از برافزایش جرم به یک سیاه-چاله مرکزی که جرمی در حدود 10^6 برابر جرم خورشید دارد ($M = 10^6 M_{\odot}$)، به دست می‌آورند. جت‌های آن‌ها در طول قطب‌های مغناطیسی کهکشانشان و عمود بر صفحه دیسک تابیده می‌شوند (شکل (۱-۶)). صفحه‌هایی که حامل ماده‌ای به قطر ۱ پارسک و ضخامت 10^{-2} پارسک است، در طول جت با سرعت‌های فرانسیتی ($\Gamma \sim 10$) به بیرون پرتاب می‌شوند. این جت‌ها مکان‌های بسیار مناسبی برای شتابدهی ذرات باردار هستند [۶]. طبیعتاً تابش پرنرژی گاما از این جت‌های ذرات انتظار می‌رود که البته در تصاویر، گامای AGN ها نیز دیده می‌شود. تا زمانی که Γ بیش از یک باشد، این جت‌ها توانایی شتابدهی ذرات، تابش و عبور پرتو گاما را دارند. مادامی که Γ تقریباً به یک نزدیک می‌شود ($\Gamma \sim 1$)، محیط جت‌ها آنقدر غلیظ شده که یک ناحیه کدر را برای پرتوهای گاما و پرتوهای کیهانی فراهم می‌کنند.