بِسمِ اللهِ الرّحمنِ الرّحيم

دانشکده علوم
گروه فیزیک

رساله برای دریافت درجه دکترای فیزیک گرایش نجوم ذره ای

انتشار پرتوهای کیهانی در محیط های فراکتالی
همراه با بررسی تاخیر زمانی پر انرژی ترین پرتوهای کیهانی در میدانهای مغناطیسی بین کهکشانی و امکان وجود پرتوهای گامای اولیه بعنوان بالاترین انرژی

استاد راهنما:
دکتر سید جلیل الدین فاطمی

مؤلف:
حمید ارجمند کرمانی

آبان ماه ۱۳۸۹

این رساله به عنوان یکی از شرایط احراز درجه دکترا به

گروه فیزیک

دانشکده علوم

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

دانشجو : حمید ارجمند کرمانی

استاد راهنما : دکتر سید جلیل الدین فاطمی

داور ۱ : دکتر علی عجب شیری زاده

داور ۲ : دکتر بهرام خالصه

داور ۳ : دکتر مجید رهنما

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه :

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به :

خانواده مهربان و فداکار

بویژه همسر صبورم

تشکر و قدردانی:

از اینکه در ابتدای راهی بی پایان قرار گرفته ام، خدا را شاکرم که همواره با توکل به او بر همه ی مشکلات فائق آمده و خوشحالم که در راه شناخت این هستی بی کران، گام کوچکی برمیدارم.

از همسر مهربان و فداکارم به خاطر صبر و پایداری اش و اینکه همواره در مقابل مشکلات مشوق و یاور من بوده است سپاسگزاری می کنم.

از فرزندان عزیزم به خاطر تحمل همه ی سختی ها و از مادر، خواهر و برادرانم به دلیل حمایتهای بی دریغشان نیز تشکرمی کنم.

از استاد راهنمای گرامی ام پروفسور دکتر سید جلیل الدین فاطمی سپاسگزارم که در تمامی مراحل تدوین این پایان نامه راهنمائی ایشان راه گشای من بوده است، که اگر اینچنین نبود از عهده ی این مهم بر نمی آمدم.

در نهایت از ریاست محترم گروه فیزیک آقای دکتر محمد مهدی یزدانپناه و سایر همکاران محترم گروه فیزیک که همواره حلال مشکلات من بوده اند تشکر می نمایم.

چکیده

فیزیک پرتوهای کیهانی از سال ۱۹۱۲ با پرواز بالن توسط ویکتور هس متولد شد. از آن زمان تاکنون سه سوال اساسی در فیزیک پرتوهای کیهانی وجود داشته است. هدف تمام آزمایشهای مربوط به فیزیکِ پرتوهای کیهانی و تمام نظریه ها والگوهای موجود در این رابطه برای پاسخ گویی به این سؤال ها است. سؤال اول در مورد طیف انرژی وماهیت پرتوهای کیهانی اولیه از نظرترکیب جرمی آنها ست. سوال دوم درمورد منشأ ومحل شتاب گیری پرتوهای کیهانی و سؤال سوم درباره ی فرایند و نحوه ی انتشار پرتوهای کیهانی در کیهان است. برای پاسخ به این سؤال ها، مدل ها و تئوری هایی به موازاتِ آزمایشهایی در این حوزه شکل گرفته است. اکنون با گذشت قریب به صدسال از تولد فیزیک پرتوهای کیهانی این سؤالها نه تنها کاملاً پاسخ داه نشده، بلکه جدی تر و پیچیده تر نیز شده اند. زیرا با گسترش آزمایشها و رصدخانه ها در این حوزه، طیف انرژی این ذرات به 10^{21} eV هم رسیده است. ماهیت ذراتی با چنین انرژی های زیاد و فرآیندی کارآمد که بتواتد شیوه ی تولید آن ها را توصیف کند و با فرایندهایی که شتابگیریِ ذرات کم انرژی تر را توصیف کند، سازگار باشد، معمای سالهای اخیر در فیزیک پرتوهای کیهانی است.

اساسا پرتوهای کیهانی با سرعتهایی خیلی نزدیک به سرعت نور حرکت می کنند. به هرحال به دلیل باردار بودن هنگام عبور انها از میدان های مغناطیسی هر دو مولفه منظم و نا منظمِ میدان باعث تاخیر زمانی نسبت به نور و در مسیر هایی که مستقیم نیستند، میگردد. این تاخیر ها می تواند آنقدر طولانی باشد که مانعی برای تشخیص درست منابعی که خود با زمان تغییر می کنند، بوجود آورد. در فصل پنجم مقادیر این تاخیر ها مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته و با تغییراتِ مشخصه های زمانیِ منابع پرتوهای کیهانی موجود مقایسه شده است.

مطالعه میدان های مغناطیسیِ کهکشانی، بین کهکشانی، خوشه های کهکشانی و نوع محیطهای مربوط به آنها می تواند در چگونگی انتشار، نوع ترکیب و نوع منابع اهمیت بسزایی داشته باشد که از کارهای انجام نشده در حوزه فیزیک پرتوهای کیهانی است. پخش ساده پرتوهای کیهانی در میدان های مغناطیسی اغلب بر حسب مشخصه مسافت آزاد میانگینِ پراکندگی یا معادل آن ضریب پخش مورد بحث قرار می گیرد. این خواصِ بسیار ساده ای را از ساختار میدان های مغناطیسی نجومی مفروض می دارد. تقریب بهتر آن است که فرض کنیم ساختار مغناطیسی خواص فراکتالی

داراست و از این رو هنگام مدل سازی انتشار امکان وجود مسیر های پیمایشی خیلی کوتاه و خیلی بلند وجود دارد. در فصل ششم نتایج این قبیل الگوهای انتشار در محیط های فراکتالی مورد بررسی قرار گرفته است.

در تحلیلهای ناهمسانگردی و جستجوی جهت منابع و نیز کسب اطلاعات راجع به محیط های بین کهکشانی دانش در مورد پرتوهای کیهانی اولیه خصوصا در انرژی های خیلی بالا در درجه اول اهمیت است. امروزه آرایه های بسیار بزرگ بارشهای هوایی گسترده مانند رصد خانه پیر اوژه واقع در ۳۰۰۰ کیلومتر مربع از خاک آرژانتین یا آرایه گسترده یاکوتسک فعال بوده و بتناسب برای ثبت پرتو های کیهانی با بالاترین گستره انرژی به منظور بدست آوردن اطلاعات مولفه میونی بارشهای هوایی، حساس می باشند. در فصل هفتم در گستره انرژی $۱۰^{۱۹}$ تا بیش از $۱۰^{۲۰}$ الکترون ولت ازبهمن های هوایی گسترده، نسبت میونها به الکترونها و میانه زاویه سمت الراسیِ آنها بررسی و با کار شبیه سازی کاپه دویله و همکاران مقایسه شده است که تحقیقی برای بدست آوردن ترکیبات ذرات اولیه کیهانی می باشد. در ضمن منابع این بارشهای هوایی گسترده مورد توجه این پایان نامه می باشد. که مسلما این اطلاعات می تواند شناخت کیهان و جنبه های کاربردی فن آوری فضایی را به همراه داشته باشد.

واژه های کلیدی: پرتوهای کیهانی، ناهمسانگردی، منابع، فرآیند انتشار، میدان های مغناطیسی، محیط های فراکتالی، تاخیر زمانی، بارشهای گسترده هوایی.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
فصل دوم: پرتوهای کیهانی	۶
۲ – ۱ طیف پرتوهای کیهانی	۷
۲ – ۲ پرتوهای کیهانی کم انرژی	۹
۲ – ۳پرتوهای کیهانی پرانرژی	۱۴
۲ – ۳– ۱ طیف انرژی و ترکیب جرمی آن	۱۵
۲ – ۳– ۲ فرآیند های تولید پرتوهای پر انرژی	۲۰
۲ – ۳ – ۳ خلاصه و چشم انداز	۲۱
۲ – ۴ پرتوهای کیهانی بسیار پرانرژی	۲۳
۲ – ۴ – ۱ طیف انرژی، ناهمسانگردی و ترکیب جرمی	۲۴
۲ – ۴– ۲ فرآیندهای تولید پرتوهای بسیار پرانرژی	۲۸
۲ – ۴ – ۳ خلاصه و چشم انداز	۲۹
۲ – ۵ منابع پرتوهای کیهانی	۳۱

۲ – ۶ هسته فعال کهکشانی AGN ۳۶

فصل سوم: محیط میان ستاره ای ۴۲

۳ – ۱ گاز هیدروژن خنثی ۴۴

۳ – ۲ ابرهای ملکولی ۴۴

۳ – ۳ مناطق هیدروژن یونیزه شده ۴۵

۳ – ۴ گرد و غبار بین ستاره ای ۴۵

۳ – ۵ ساختارهای فراکتالی ۴۶

۳ – ۵ – ۱ عوامل ایجاد ساختارهای فراکتالی ۴۷

فصل چهارم: فیزیک بهمن های گسترده هوایی ۴۹

۴ – ۱ مقدمه ۵۰

۴ – ۲ راهکارهای تولید ذرات ۵۴

۴ – ۳ گسترش بهمن گسترده هوایی ۶۰

۴ – ۳ – ۱ گسترش طولی بهمن ۶۰

۴ – ۳ – ۲ گسترش عرضی بهمن ۶۲

۴ – ۴ آرایه های بهمن های گسترده هوایی ۶۳

۴ – ۴ – ۱ انواع آرایه های بهمن های گسترده هوایی ۶۵

فصل پنجم: پرتوهای کیهانی بسیار پر انرژی و میدان های مغناطیسی بین کهکشانی ۷۱

۵ – ۱ تاخیر زمانی در انتشار ذرات کیهانی ۷۲

۵ – ۲ همبستگی با AGN ها و میدان مغناطیسی ۷۲

۵ – ۲ – ۱ میدان های مغناطیسی کهکشانی ۷۳

۵ – ۲ – ۲ میدان های مغناطیسی خارج کهکشانی ۷۶

۵ – ۳ تاخیر زمانی و انحراف زاویه ای ۷۹

۵ – ۴ طیف انرژی کلموگوروف ۸۰

۵ – ۵ تاخیر انتشار پرتوهای کیهانی و انحراف زاویه ای از راستاهای اوژه ۸۱

۶ – ۵ – ۱ انحراف های زاویه ای از جهت های اوژه ۸۶

۵ – ۶ نتیجه گیری ۹۰

فصل ششم: انتشار پرتوهای کیهانی در محیط کهکشانی فراکتالی ۹۲

۶ – ۱ مقدمه ۹۳

۶ – ۲ ابر پخش ۹۵

۶ – ۲ – ۱ پارامتر های پخش ۹۸

۶ – ۲ – ۲ ابر پخش و زمان های ماندگاری کهکشانی ۹۸

۶ – ۳ منشاء حرکت اتفاقی ۱۰۱

۶ – ۴ چگالی انرژی پرتوهای کیهانی کهکشانی با فرض انتشار ابر پخشی ۱۰۶

۶ – ۵ نتیجه گیری ۱۰۸

فصل هفتم: پرتوی گامای اولیه به عنوان بالاترین انرژی های پرتوهای کیهانی ۱۱۰

۷ – ۱ مقدمه ۱۱۱

۷ – ۲ آنالیز داده ها ۱۱۴

۷ – ۳ نتیجه گیری ۱۲۳

فصل هشتم: بررسی و نتایج ۱۲۴

پیوست الف ۱۲۸

پیوست ب ۱۴۰

پیوست ج ۱۴۸

پیوست د ۱۵۱

منابع ۱۵۴

فصل اول : مقدمه

تابش کیهانی بواسطه وجود دو عنصرِ در حال تحقیق فیزیک معاصر در آن، یعنی فیزیک اجرام سماوی و فیزیک ذرات بنیادی موضوعی جذاب و افسون کننده است. همچنین تابش کیهانی از این جهت که پس از گذشت حدود ۱۰۰ سال، هنوز منشاءِ بوجود آورنده بخش عظیمی از آن در هاله ای از ابهام و حدس و گمان است، نیز موضوعی جذاب است.

در ابتدای دهه ی ۱۹۰۰ تابش رادیو اکتیو توسط دانشمند فرانسوی هنری بکرل[۱] کشف شد. در آن زمان آهنگ تخلیه ی الکتروسکوپ به عنوان نمادی از شدت رادیواکتیو بودن ماده بکار می رفت. در همان زمان فیزیک دانان تابشی را که باعث تخلیه ی الکتروسکوپ باردار می شد کشف کرده و آن را تابش زمینه نام نهادند که ماهیت و منشاءِ آن معلوم نبود. گمان عموم بر این بود که این تابش از طرف زمین است. تا اینکه در سال ۱۹۱۲ دانشمند اتریشی ویکتور هس[۲] توسط پرواز با بالن، آهنگ تخلیه ی الکتروسکوپ را در ارتفاع های مختلف اندازه گیری نمود. او از این آزمایش نتیجه گرفت که تابش زمینه منشاءِ خارج از جو داشته و از فضای خارج وارد جو زمین می شود. بدین ترتیب این تابش، تابش کیهانی نام گرفت و فیزیک پرتو های کیهانی توسط ویکتور هس متولد شد. از آن پس مطالعات و تحقیقات بسیاری برای شناخت و پیدا کردن منشاءِ پرتو های کیهانی آغاز شد. علی رغم این تصور که تابش کیهانی پرتوهای گاما هستند، آزمایش هایی که روی رد ذرات در اتاقک بخار[۳] انجام گرفت وهمچنین تفاوت نرخ آشکار سازی ذرات در شرق و غرب، مشخص نمود که آنها غالبا ذرات باردار مثبت می باشند که عمده ی آنها پروتون هستند.

---

[۱] Henri Becquerel
[۲] Victor Hess
[۳] Cloud chamber

پس از ۱۹۳۲ پوزیترون و میون اولین ذرات بنیادی بودند که در آزمایشهای پرتو های کیهانی کشف شدند و این منجر به تولد فیزیک ذرات بنیادی شد. تا دهه ی ۱۹۵۰ که اولین شتاب دهنده ها برای فیزیک ذرات بنیادی ساخته شدند، از پرتوهای کیهانی به عنوان آزمایشگاه فیزیک ذرات بنیادی استفاده می شد.

در سال ۱۹۳۸ و در ارتفاعات آلپ پیر اوژه[۴] نشان داد که پرتوهای کیهانی هم زمان وارد آشکار سازهایی می شوند که در فاصله چند متر از یکدیگر قرار دارند. او این پدیده را این طور شرح داد که ذراتی که وارد آشکار سازها می شوند، در واقع ذرات ثانویهِ حاصل از اندر کنش یک ذره پر انرژی با ملکول های جو هستند. به ابن ترتیب برای اولین بار انرژی $۱۰^{۱۵}$ eV برای یک ذره پرتوهای کیهانی ثبت شد. این آزمایش برای مطالعه ذرات پر انرژی سرآغازی بر فیزیک بهمن های گسترده ی هوایی بود. اولین آزمایشهای مربوط به بهمن های گسترده هوایی در سال ۱۹۴۶ توسط برونو رزی[۵] انجام گرفت. از آن سال به بعد آرایه های کوچک و بزرگی برای مطالعه روی شار پرتو های کیهانی طراحی و ساخته شده است که مهمترین آنها آرایه بزرگ پیر اوژه در آرژانتین است. این آزمایشها و هم زمان آزمایشهایی که با بالن و ماهواره انجام می شود به مطالعه روی ماهیت و طیف انرژی و نا همسانگردی در شار پرتو های کیهانی می پردازد. همزمان با این آزمایشها مساله ی مهمی که وجود دارد، تئوری ها و الگو هایی است که بتواند منشاء و فرآیند تولید این ذرات را توضیح بدهند. اولین الگوئی که تولید پرتو های کیهانی را توصیف می کرد، توسط انریکو فرمی[۶] در سال ۱۹۴۹ ارائه شد. این مدل محل تولد پرتوهای کیهانی را در بقایای ابر نو اختری در ابرهای مغناطیسیِ یونیده پیشنهاد می کرد. در اوایل دهه

---

[۴] Pierre Auger
[۵] Bruno Rossi
[۶] Enrico Fermi

۱۹۶۰ تابش زمینه کیهانی تایید شد و در سال ۱۹۶۶ گرایزن[۷] ، ژوزفین[۸] و کازمین[۹] با فرض وجود تابش زمینه کیهانی حد نهائی ۵×۱۰^{۱۸} eV برای انرژی پرتو های کیهانی ارائه دادند که به انرژی قطع GZK معروف شد. با ارائه ی این مساله، آرایه های زیادی به بررسی شار پرتو های کیهانی در انرژی های بیش تر از آستانه GZK پرداختند. برای اولین بار در سال ۱۹۶۲ پرتو های کیهانی با انرژی $۱۰^{۲۰}$ eV توسط جان لینزلی[۱۰] و همکارانش در آرایه ولکینو[۱۱] در نیو مکزیکو آمریکا مشاهده شد. از آن زمان تا کنون آرایه های گسترده ای از آشکار سازهای ذره برای مطالعه روی طیف انرژی ذرات بسیار پر انرژی در محدوده انرژی قطع GZK ساخته شده اند. همزمان مدل های نظری ارائه می شود که سعی می کنند منشاء و فرآیند پخش پرتو های کیهانی را توصیف کنند. برای تایید و یا رد این مدل ها، لازم است که آنها را با داده های تجربی مقایسه کرد. از این رو همچنان در سرتاسر دنیا آزمایش هایی که اساس کار آنها ثبت پرتو های کیهانی به وسیله ی آرایه های زمینی و یا زیر زمینی و یا با بالن و ماهواره است، در تمام طیف پرتو های کیهانی از $۱۰^{۸}$ eV تا $۱۰^{۲۰}$ eV مشغول به ثبت و تحلیل داده و مقایسه نتایج با سایر آزمایشها هستند.

در این پایان نامه ابتدا به مشخصات پرتوهای کیهانی پر انرژی و بسیار پر انرژی و منابع تولید پرتوهای کیهانی بسیار پر انرژی از جمله هسته های فعال کهکشانی می پردازیم. فصل سوم به بررسی محیط میان ستاره ای اختصاص دارد. در فصل چهارم فیزیک بهمن های هوایی را مد نظر قرار داده ایم. در فصل پنجم ضمن مطالعه میدان های مغناطیسی کهکشانی و بین

---

[۷] Kenneth Greisen
[۸] Georgiy Zatsepin
[۹] Vadim Kuzmin
[۱۰] John Linsley
[۱۱] Volcano

کهکشانی، تاخیر انتشار پرتوهای کیهانی و انحراف زاویه ای آنها را بررسی کرده و با نتایج اخیر گروه اوژه مقایسه نموده ایم. در فصل ششم خواص فراکتالی محیط ها ی کهکشانی را بررسی و مورد پژوهش قرار داده و به انتشار پرتو های کیهانی پر انرژی در اینگونه محیط ها پرداخته ایم در فصل هفتم در گستره انرژی $۱۰^{۱۹}$ تا بیش از $۱۰^{۲۰}$ الکترون ولت ازبهمن های هوایی گسترده، نسبت میونها به الکترونها و میانه زاویه سمت الراسیِ آنها بررسی و با کار شبیه سازی کاپه دویله[۱۲] و همکاران مقایسه شده است. و در آخرخلاصه ای از نتایجی که این رساله در بر داشته، ارائه شده است.

[۱۲] Capdevielle

فصل دوم : پرتوهای کیهانی

۲ – ۱ طیف پرتوهای کیهانی

پرتوهای کیهانی اولیه (PCRs)[۱] از خارج، جو زمین را بمباران کرده و در نتیجه برهم کنش آنها با هسته ی اتمهای موجود در جو پرتو های ثانویه تولید می شوند. علاوه بر این پرتو های کیهانی پر انرژی تر (بالاتر از $۱۰^{۲۰}$ eV) از خارج منظومه شمسی به زمین رسیده و منشا کهکشانی یا برون کهکشانی دارند. همچنین پرتوهای کیهانی خورشیدی (SCRs)[۲]، وابسته به فعالیت خورشید، با انرژی های پائین (کمتر از $۱۰^{۱۰}$ eV) نیز معین شده اند.

تابش کیهانی کهکشان (GCR)[۳] ، گاز رقیقی از ذرات نسبیتی است که تمام کهکشان، از جمله هاله ی کهکشان را در بر گرفته است. تنها درصد کمی از این تابش، الکترون ها یی هستند که در میدان مغناطیسی کهکشان تابش سیکلوترونی می کنند. سهم بیشتر به هسته هایی اختصاص دارد که از هسته های سبک چون هسته هیدروژن (پروتون) شروع می شود و به هسته های سنگینی چون هسته ی اورانیوم می رسد. در این میان سهم عمده طیف مربوط به هسته های هیدرژن و هلیوم است و هسته های سنگین تر ($Z>2$) تنها ۱٪ پرتوهای کیهانی را شامل می شوند. میدان های مغناطیسی کهکشانی و بین کهکشانی به اندازه ای هستند که مسیر ذرات باردار پرتوهای کیهانی را درهم می آمیزند. شاید به غیر از پر انرژی ترین آنها، هنگام رسیدن به جو زمین در مورد بقیه هیچ آگاهی در مورد نوع و محل منبع انتشار ، وجود ندارد. از این رو تنها کمیت های قابل مشاهده ای که ممکن است اطلاعاتی برای ما در بر داشته باشند، توزیع انرژی و ترکیب عناصر پرتوهای کیهانی اولیه است.

---

[۱] Primary Cosmic Rays
[۲] Solar Cosmic Rays
[۳] Galactic Cosmic Ray

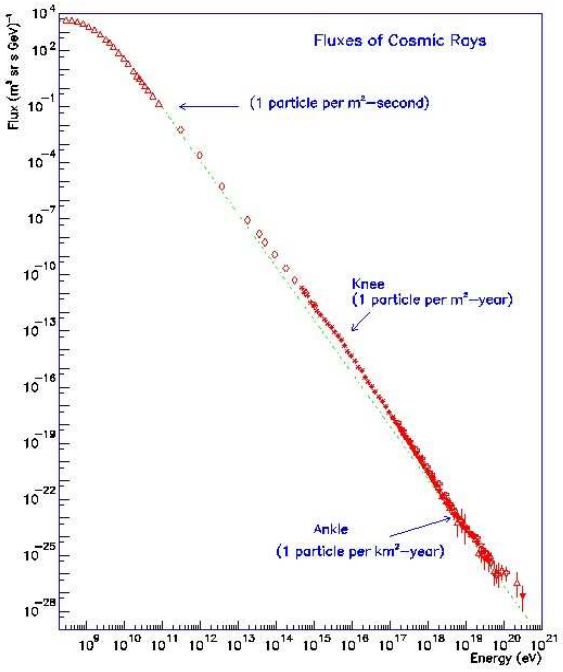
در نیم قرن گذشته، هدف اصلی مطالعه روی پرتوهای کیهانی به دست آوردن دقیق طیف ترکیبی پرتوهای کیهانی در بازه های مختلف انرژی بوده است. اهمیت این امر در آن است که نوع ذرات اولیه، اطلاعاتی از ماهیت و نوع چشمه ای که این ذرات در آن تولید شده اند و همین طور ساز و کار تولید هسته های مختلف درانرژی های زیاد را به ما می دهد.

تابش کیهانی کهکشان محدوده بسیار بزرگی از انرژی را در بر می گیرد. کم انرژی ترین این ذرات $۱۰^{۸}$ eV و پر انرژی ترین آنها $۱۰^{۲۰}$ eV انرژی دارد. طیف این ذرات یک طیف توانی است و با افزایش انرژی، شدت این ذرات به سرعت کاهش می یابد. (شکل۲ – ۱).

طیف دیفرانسیلی پرتوهای کیهانی تا انرژی $۱۰^{۱۵}$ eV به شکل $E^{-2.7}$ افت پیدا می کند و در نزدیکی چند TeV علاوه بر پروتون ترکیب هایی از (CNO) نیز در طیف دیده می شود. در انرژی های بیشتر، اندازه گیری ها مبنی بر تحلیل بهمن های ناشی از ذرات اولیه ی پرانرژی است. طیف توانی شار پرتوهای کیهانی بعد از انرژی $۱۰^{۱۵}$ eV افت شدیدتری داشته و در این ناحیه یک شکستگی بوجود می آید که به آن زانوی[۴] طیف گفته می شود. بعد از زانو، طیف با شیب $E^{-3.2}$ افت می کند. این طیف، بین انرژی های $۱۰^{۱۸}$-$۱۰^{۲۰}$ eV مجددا شیب کند تری پیدا می کند. به این شکستگی جدید در $۱۰^{۱۸}$ eV قوزک[۵] طیف گفته می شود. نمای طیف بعد از قوزک مجددا به ۲/۷ می رسد. ذراتی با انرژی در محدوده انرژی زانو، تحت تاثیر میدان مغناطیسی درون کهکشان محصور می شوند. زیرا شعاع چرخش آنها $r_g = \frac{p}{eB}$ با احتساب $<B> = 1$ میکرو گوس برابر با 1 pc است که از ابعاد کهکشان، کوچکتر است. اما

[۴] Knee
[۵] Ankle

ذرات پر انرژی تر می توانند از میدان مغناطیسی کهکشان فرار کنند. از این رو می توانند منشا برون کهکشانی داشته باشند.



شکل ۲- ۱: طیف دیفرانسیلی پرتو های کیهانی، زانو و قوزک طیف نشان داده شده است [۱].

۲ – ۲ پرتوهای کیهانی کم انرژی

✓ پرتوهای کیهانی کم انرژی خورشیدی

انفجارهای خورشیدی بیشتر اوقات همراه با ذرات باردار ساطع شده از خورشید می باشند. انرژی این ذرات می تواند به بیش از چند صد MeV برسد. آنها در امتداد میدان مغناطیسی در کاواک خورشیدی حرکت می کنند و وارد محیط میان ستاره ای می شوند. وقتی این ذرات از نزدیکی زمین عبور می کنند بوسیله آشکار سازهای پرتو های کیهانی شناسایی می شوند.