



دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

موضوع:

توزیع عرضی انرژی ذرات ثانویه در پرتوهای کیهانی

توسط:

مظاهر فانی اسکی

استاد راهنما:

دکتر گوهر رستگارزاده

اسفند ۱۳۹۱



دانشکده فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

تحت عنوان:

توزیع عرضی انرژی ذرات ثانویه در پرتوهای کیهانی

ارائه شده توسط:

مظاهر فانی اسکی

در تاریخ ۱۴ اسفند ماه ۱۳۹۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

دکتر گوهر رستگرازاده

۱- استاد راهنما

دکتر حسین غفارنژاد

۲- استاد داور

دکتر مهرداد قمی نژاد

۳- استاد داور

تقدیم به:

روان پاک مادرم

و تقدیم به:

همسر و فرزندانم

که صبر و مهرشان به بزرگی سعیم را ستود.

تقدیر و تشکر

از خداوند حکیم مهربان سپاسگزارم، اوست که از سر حکمت و لطف خود زندگی را برای من چنان رقم زد تا امروز در این نقطه ایستاده باشم.

از استاد ارجمندم، سرکار خانم دکتر گوهر رستگار زاده کمال تشکر را دارم که قبول زحمت کرده، مسئولیت استاد راهنمایی پایان نامه اینجانب را پذیرفتند، و بی هیچ دریغی دانسته های خود را در تمام مراحل پژوهش در اختیارم قرار دادند.

از خانواده عزیزم به ویژه از پدر عزیز و همسر مهربانم ممنون و سپاسگزارم که حامی واقعی من در این راه بودند و زحمات زیادی را متحمل شدند. در پایان از تمامی عزیزانی که به راستی اینجانب را یاری و همراهی نمودند، تشکر و قدردانی می کنم.

چکیده

در پژوهش حاضر شبیه سازی مونت کارلو با کد CORSIKA برای تابش بهمن های گسترده هوایی با اولیه های پروتون، هلیوم، اکسیژن، سدیم، سیلیسیوم و کلسیم در انرژی های اولیه 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت برای بررسی وابستگی چگالی انرژی الکترون و میون به فاصله از مرکز بهمن و جرم ذره اولیه انجام شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که چگالی انرژی الکترون و میون تابعی است از فاصله از مرکز بهمن، و نیز پارامتری است حساس به جرم که با افزایش جرم ذره اولیه، چگالی انرژی الکترون و میون افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: توزیع عرضی، ذرات ثانویه، پرتوهای کیهانی.

فهرست مطالب

۱ مقدمه ای بر پرتوهای کیهانی

- ۱-۱ مقدمه..... ۱
- ۲-۱ تاریخچه پرتوهای کیهانی..... ۲
- ۳-۱ طیف انرژی..... ۲
- ۴-۱ خواص پرتوهای کیهانی با انرژی فوق العاده زیاد..... ۵
- ۵-۱ پرتوهای کیهانی و سلامتی..... ۶
- ۶-۱ پرتوهای کیهانی و آب و هوا..... ۸
- ۷-۱ بررسی تأثیر میدان مغناطیسی زمین بر پرتوهای کیهانی..... ۸
- ۸-۱ رصدخانه های پرتوهای کیهانی..... ۹
- ۹-۱ صورت کلی منابع پرتوهای کیهانی..... ۱۰
- ۱۰-۱ بادهای خورشیدی..... ۱۰
- ۱۱-۱ پرتو گاما..... ۱۲
- ۱۲-۱ پرتو ایکس..... ۱۳
- ۱۳-۱ گسیل پرتو ایکس از ستارگان مرده..... ۱۳
- ۱۴-۱ گسیل پرتو X از ستارگان شبه خورشید..... ۱۴

۲ بهمن های گسترده هوایی

- ۱-۲ مقدمه..... ۱۹
- ۲-۲ خواص بهمن های هوایی گسترده..... ۱۹

- ۱۹..... ۱-۲-۲ مدل هیتلر.....
- ۲۱..... ۲-۲-۲ مولفه‌های یک بهمن هوایی.....
- ۲۳..... ۳-۲ روش‌های آشکارسازی.....
- ۲۵..... ۱-۳-۲ آرایه زمینی.....
- ۲۷..... ۲-۳-۲ فلورسانس هوا.....
- ۳۰..... ۴-۲ ذرات بنیادی.....
- ۳۱..... ۱-۴-۲ ساختمان هسته ای.....
- ۳۱..... ۲-۴-۲ هسته پایدار و ناپایدار.....
- ۳۲..... ۳-۴-۲ واپاشی هسته.....
- ۳۲..... ۱-۳-۴-۲ واپاشی گامازا.....
- ۳۳..... ۲-۳-۴-۲ واپاشی بتا و نوترینو.....
- ۳۵..... ۳-۳-۴-۲ واپاشی آلفازا.....
- ۳۵..... ۵-۲ مطالعه بهمن های گسترده هوایی.....
- ۳۶..... ۶-۲ انواع بارش های کیهانی.....
- ۳۷..... ۱-۶-۲ بهمن هادرونی.....
- ۳۷..... ۲-۶-۲ بهمن الکترومغناطیسی.....
- ۳۹..... ۷-۲ مشخصه های یک بهمن.....
- ۴۰..... ۸-۲ مطالعات تجربی ویژگی های بهمن گسترده هوایی.....
- ۴۱..... ۹-۲ آشکارسازی بهمن های هوایی.....
- ۴۱..... ۱-۹-۲ آشکارسازی مستقیم.....

- ۲-۹-۲ آشکارسازی غیرمستقیم..... ۴۱
- ۲-۹-۲-۱ انواع آشکارسازی های غیرمستقیم عبارتند از..... ۴۱
- ۲-۹-۲-۱-۱ آشکارساز ذرات..... ۴۲
- ۲-۹-۲-۱-۲ آشکارساز نور فلورسانس..... ۴۲
- ۲-۹-۲-۱-۳ نور چرنکوف ذرات ثانویه..... ۴۳
- ۲-۱۰-۲ میون..... ۴۳
- ۲-۱۱-۲ الکترون..... ۴۴
- ۲-۱۲-۲ پارامتر سنی بهممن..... ۴۴
- ۲-۱۳-۲ انواع افت وخیز(خطا)..... ۴۵
- ۲-۱۴-۲ کد شبیه سازی CORSIKA..... ۴۵
- ۲-۱۵-۲ آزمایش KASCADE..... ۴۶

۳ توزیع عرضی چگالی انرژی ذرات ثانویه پرتو های کیهانی

- ۳-۱-۱ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون..... ۴۷
- ۳-۱-۱-۱ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای اولیه های متفاوت با انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهممن..... ۴۸
- ۳-۱-۲ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای اولیه های متفاوت برای انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهممن..... ۵۱
- ۳-۱-۳ مقایسه چگالی انرژی الکترون برای اولیه های متفاوت تابعی از عدد جرمی در شعاع های معین... ۵۴

- ۳-۱-۴ مقایسه چگالی انرژی الکترون برای پروتون 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن
 ۵۵.....
- ۳-۲-۲ توزیع عرضی چگالی انرژی میون.....
 ۵۶.....
- ۳-۲-۱ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های متفاوت برای انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی
 از فاصله تا مرکز بهمن.....
 ۵۷.....
- ۳-۲-۲ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های متفاوت برای انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی
 از فاصله تا مرکز بهمن.....
 ۶۰.....
- ۳-۲-۳ مقایسه چگالی انرژی میون برای پروتون 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن.....
 ۶۴.....
- ۳-۲-۴ مقایسه چگالی انرژی میون برای اولیه های متفاوت تابعی از عدد جرمی در شعاع های معین.....
 ۶۵.....
- نتیجه گیری.....
 ۶۶.....
- مراجع.....
 ۶۷.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ طیف انرژی..... ۴
- شکل ۲-۱ قدرت نفوذ پذیری آلفا، بتا و گاما..... ۷
- شکل ۳-۱ در معرض تابش کیهانی..... ۷
- شکل ۴-۱ قدرت نفوذ پذیری آلفا، بتا، گاما و ایکس و نوترون..... ۸
- شکل ۵-۱ شفق قطبی در گرینلند..... ۹
- شکل ۶-۱ پدیده فوتوالکتریک..... ۱۶
- شکل ۷-۱ بهمن گسترده هوایی..... ۱۷
- شکل ۱-۲ مدل هیتلر فرایند شاخه بندی را در آبشار بهمن هوایی نشان می‌دهد..... ۲۰
- شکل ۲-۲ فرایندهای ایجاد آبشار در یک بهمن هوایی گسترده را نمایش می‌دهد..... ۲۲
- شکل ۳-۲ طرحواره دو روش اصلی که امروزه برای مشاهده و اندازه‌گیری خواص بهمن‌های هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد..... ۲۴
- شکل ۴-۲ سمت چپ، توزیع عرضی چگالی‌های ذره که در سطح زمین برای یک بهمن پروتون با انرژی 10^{19} eV شبیه سازی شده است. سمت راست، چگالی‌های ذره با آشکارساز چرنکوف آبی با عمق ۱/۲ متر ۲۵
- شکل ۵-۲ طیف تابش نور فلورسان از باند 2P نیتروژن مولکولی و باند 1N از یون مولکول N_2^+ تقریباً ۸۰٪ نورتابشی بین طول موج‌های ۳۰۰nm و ۴۵۰nm می‌باشد..... ۲۸
- شکل ۶-۲ تعداد الکترون‌ها بر حسب عمق بهمن..... ۲۸
- شکل ۷-۲ تعداد فوتون‌های نور چرنکوف و نور فلورسان بر حسب عمق بهمن..... ۲۹
- شکل ۸-۲ واپاشی بتازا..... ۳۴
- شکل ۹-۲ تبدیل ذره اولیه به ذره ثانویه در اثر برخورد با جو زمین..... ۳۵
- شکل ۱۰-۲ پارامتر سنی بهمن بر حسب تعداد ذرات..... ۴۴
- شکل ۱-۳ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۰ متر از مرکز بهمن..... ۴۸

- شکل ۳-۲ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون با ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۱۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۴۹
- شکل ۳-۳ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۰۰-۱۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۰
- شکل ۳-۴ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۵۰-۲۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۰
- شکل ۳-۵ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۱۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۱
- شکل ۳-۶ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۱۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۲
- شکل ۳-۷ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۰۰-۱۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۳
- شکل ۳-۸ توزیع عرضی چگالی انرژی الکترون برای ذرات اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۵۰-۳۲۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۳
- شکل ۳-۹ توزیع چگالی انرژی الکترون در شعاعهای ۳۰ و ۷۰ و ۹۰ متر برای ذرات اولیه پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم با انرژی 10^{15} الکترون ولت تابعی از عدد جرمی..... ۵۴
- شکل ۳-۱۰ مقایسه چگالی انرژی الکترون با اولیه پروتون 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت در فاصله شعاعی ۵۰-۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۵

- شکل ۳-۱۱ مقایسه چگالی انرژی الکترون با اولیه پروتون 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت در فاصله شعاعی ۱۰۰-۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۵
- شکل ۳-۱۲ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۶
- شکل ۳-۱۳ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۰۰-۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۷
- شکل ۳-۱۴ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۵۰-۱۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۸
- شکل ۳-۱۵ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای ذرات اولیه پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{14} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۳۲۰-۱۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۸
- شکل ۳-۱۶ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۵۰-۰ متر از مرکز بهمن..... ۵۹
- شکل ۳-۱۷ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۰۰-۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۰
- شکل ۳-۱۸ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۱۵۰-۱۰۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۱
- شکل ۳-۱۹ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای اولیه های پرتوهای کیهانی پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم در انرژی اولیه 10^{15} الکترون ولت تابعی از فاصله تا مرکز بهمن در فاصله ۳۲۰-۱۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۱

شکل ۳-۲۰ ن توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای پروتون با انرژی اولیه 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت در فاصله شعاعی ۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۲

شکل ۳-۲۱ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای پروتون با انرژی اولیه 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت در شعاع ۱۰۰-۵۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۳

شکل ۳-۲۲ توزیع عرضی چگالی انرژی میون برای پروتون با انرژی اولیه 10^{14} و 10^{15} الکترون ولت در فاصله شعاع ۱۰۰-۳۲۰ متر از مرکز بهمن..... ۶۳

شکل ۳-۲۳ توزیع چگالی انرژی میون در شعاعهای ۳۰ و ۷۰ و ۹۰ متر برای ذرات اولیه پروتون، هلیوم، سیلیسیوم، اکسیژن و کلسیم با انرژی 10^{15} الکترون ولت تابعی از عدد جرمی..... ۶۴

فصل اول

مقدمه ای بر پرتوهای کیهانی

۱-۱ مقدمه

پرتوهای کیهانی، تابش های پر انرژی هستند که به طور پیوسته زمین را بمباران می کنند [۱]. به طور خلاصه این عنوان نه تنها به شار هسته های یونیزه که دامنه آن از هیدروژن تا آهن می باشد، اشاره می کند، بلکه الکترونها و پوزیترونها را نیز شامل می شود. همچنین بعضی اوقات، فوتون های پرانرژی را نیز به عنوان بخشی از پرتوهای کیهانی در نظر می گیرند، اما اینها بدون بارند. با این حال واکنشی که آنها در جو زمین ایجاد می کنند خیلی شبیه به رفتار ذرات باردار سبک می باشد.

کره زمین مرتباً توسط ذرات باردار بسیار پر انرژی از جهات مختلف به طور همسانگرد بمباران می شود؛ به این ذرات پرتوهای کیهانی می گویند. پرتوهایی که از بیرون زمین یا از کیهان می آیند باردار هستند؛ شار(طیف) انرژی و شار جرمی پرتوهای کیهانی (انرژی و جرم و جنس و ذرات) هدف نهایی است تا بتوان منبع پرتوهای کیهانی را مشخص نمود. اندازه گیری طیف انرژی و ترکیب جرمی این ذرات کلید راهیابی به منابع و فرایند شتاب دهی این ذرات می باشد. پرتوهای کیهانی پروتونها و هسته های کاملاً یونیزه ای هستند که طیف انرژی آنها محدوده گسترده ای را از 10^9 الی 10^{20} الکترون ولت در بر می گیرد. شار ذرات در این محدوده تا 30 مرتبه بزرگی افت می کند. پرتوهای کیهانی هنگامی که به اتمسفر زمین می رسند طی واکنش هایی با اتمهای تشکیل دهنده اتمسفر زمین به ذرات ثانویه تبدیل می شوند. پرتوهای کیهانی تا قبل از اینکه به زمین برسند از منابع پرتوزا نشأت می گیرند. البته بعضی از مواد تشکیل دهنده به دلیل انجام واکنش های میان ستاره ای (تجزیه و یونیزه شدن) به وجود می آیند.

۲-۱ تاریخچه پرتوهای کیهانی

در سال ۱۷۸۵ میلادی چارلز کولومب^۱ کشف کرد که اجسام باردار در هوا تخلیه می‌شوند، یعنی یون - هایی در جو وجود دارند. در سال ۱۹۰۲، رادرفورد^۲، مک‌کلینان^۳ و بورتون^۴، کشف کردند که تابش نافذی از جو زمین عبور می‌کند.

تاریخ تحقیقات اصولی پرتوهای کیهانی به سال ۱۹۱۲ بر می‌گردد، زمانی که ویکتور هس با یک الکتروسکوپ حساس که ورقه آن طلا بود با بالن تا ارتفاع ۵۰۰۰ متری پرواز کرد و مشاهده کرد که مقدار تابش وقتی که او به ارتفاع بالاتر از ۲۵۰۰ متر می‌رسد، افزایش می‌یابد و با افزایش ارتفاع، الکتروسکوپی زودتر تخلیه می‌شود. ویکتور هس به خاطر این کشف، جایزه نوبل را در سال ۱۹۳۶ دریافت کرد [۲].

در سال ۱۹۳۳ سر آرتو کامپتون دریافت که شدت تابش وابسته به مقدار مغناطیس است، سپس در سال ۱۹۷۳، استیونسون و استریت ذره میونی را در پرتوهای کیهانی کشف کردند.

پیر اوژه^۵ و رونالد میز^۶ در ۱۹۳۸ پرتوها را در آشکارسازهایی که به فاصله ۲۰ متر از هم بودند، مشاهده کردند و نام بهمین^۷ را برای پرتوها در نظر گرفتند. نخستین توضیح صحیح را برای این سؤال که پرتوهای کیهانی از چه چیزی تشکیل شده‌اند در سال ۱۹۸۲، الییت^۸ و سکیدو^۹ ارائه دادند و بیان کردند که این پرتوها از اتم‌های یونیزه‌ای هستند که از فضای بیرونی جو می‌آیند و با جو برخورد می‌کنند.

۳-۱ طیف انرژی

جالب‌ترین ویژگی پرتوهای کیهانی طیف انرژی آنهاست؛ کاهش شار رسیده، با افزایش انرژی شدیدتر خواهد شد. دامنه انرژی ذرات پرتو کیهانی از مرتبه چند گیگا الکترون ولت به حداقل 10^{11} GeV می‌رسد.

¹- Charles Coulomb

²- Rutherford

³- Maklinon

⁴- Burton

⁵- Pierre Auger

⁶- Roland maze

⁷- Shower

⁸- Ellito

⁹- Sekido

پرتوهای کیهانی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

۱- ذراتی که انرژی آنها کمتر از 100 MeV است که منشأ آنها خورشید است و به ^1SCR موسومند.

۲- ذراتی با انرژی کمتر از 10^{17} eV تا 10^{18} eV که معمولاً منشأ کهکشانی دارند و به ^2GCR معروفند.

۳- ذراتی که انرژی آنها بیشتر از 10^{18} eV است که منشأ فرا کهکشانی دارند و به ^3ACR معروفند.

برای مثال یک پروتون با انرژی 10^{18} eV یک شعاع لارمور به اندازه 360 پارسک در میدان مغناطیسی کهکشانی که شدت مغناطیسی آن تقریباً $3 \mu\text{G}$ است، دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت که ذرات در انرژی‌های بالاتر نمی‌توانند، با این قدرت مغناطیسی، در محدوده کهکشان ما باشند. هر یک از این محدوده‌ها ویژگی‌هایی دارد که شیوه آشکار سازی آن را مشخص می‌کند.

شکل (۱-۱) طیف انرژی را نمایش می‌دهد. با یک پیشگویی خوب تغییرات شار با انرژی با قانون نمایی

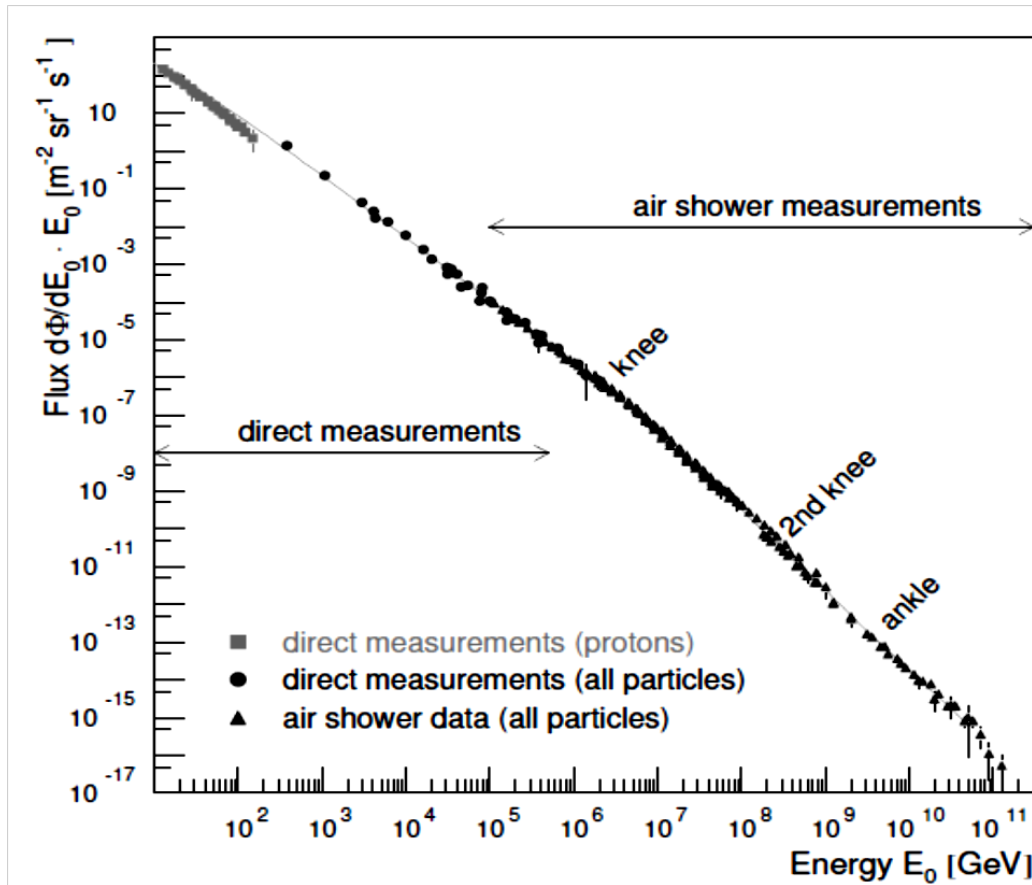
زیر نمایش داده می‌شود؛ که I میزان شار، E انرژی و γ شاخص طیفی می‌باشد:

$$\frac{dI}{dE} \propto E^{-\gamma} \quad (1-1)$$

¹ - Solar Cosmic Rays

² - Galactic Cosmic Rays

³ - Anomalous cosmic Rays



شکل (۱-۱): طیف انرژی

در انرژی‌های پایین اندیس طیفی تقریباً برابر $2/7$ است. تقریباً در انرژی $4 \times 10^6 \text{ GeV}$ یک شیب در منحنی طیف مشاهده می‌شود که یک کاهش خیلی سریع شار با انرژی مشاهده می‌شود. در این انرژی تغییرات اندیس طیفی یعنی γ ، $2/7$ تا $3/1$ می‌باشد که این ویژگی طیف زانو^۱ نامیده می‌شود. در انرژی‌های حول مقدار $4 \times 10^8 \text{ GeV}$ یک شیب اضافی در طیف مشاهده می‌شود که آن را زانوی دوم می‌نامند. مقدار γ در این انرژی $3/3$ می‌باشد.

نتایج رصدخانه KASCADE پیشنهاد می‌کند که زانو در انرژی $4 \times 10^6 \text{ GeV}$ به سبب کاهش عوامل نوری است. بعضی دیدگاه‌ها علت زانو را به تغییرات شیمیایی (بیشتر هسته‌های سنگین) و گروهی دیگر علت آن را به تغییر در نوع برهم‌کنش‌هایی که در این انرژی‌ها به وجود می‌آید نسبت می‌دهند [۳]. ترکیب جرمی در انرژی‌های بالاتر از زانو تاکنون به طور دقیق مشخص نشده است. زانوی طیف، نشان دهنده بیشینه

^۱ - Knee

انرژی قابل دسترس به واسطه فرایند شتاب‌دهی در کهکشان است، که می‌تواند به علت اثر گسیل ذرات از کهکشان باشد. زانوی طیف می‌تواند به سبب اندرکنش پرتوهای کیهانی با ذرات پس‌زمینه (مانند فوتون‌ها-نوترینوها) باشد یا اصلاً نمی‌تواند یک ویژگی تابش کیهانی باشد، اما در عوض می‌تواند توسط گسترش بهمن در جو زمین از طریق خلق ذرات سنگین خارجی گسیل شود.

پهنایی در طیف مشاهده می‌شود که اندیس طیفی به مقدار $2/7$ کاهش می‌یابد که معمولاً قوزک^۱ طیف نامیده می‌شود. قوزک طیف به گذر پرتوهای کیهانی از کهکشان به فرا کهکشان اشاره می‌کند. ویژگی قوزک هنوز موضوع بحث دانشمندان است. انرژی‌های بالاتر از قوزک در اثر شتاب امواج ضربه‌ای انفجار ابر نو اختر در کهکشان می‌باشد. در انرژی قوزک، شار پروتون‌های فراکهکشانی ناشی از کهکشان‌های رادیویی قوی، بیشتر می‌شود. انتظار می‌رود که شار پرتوهای کیهانی در انرژی بالاتر از 6×10^{11} GeV متوقف شود، چون این پرتوهای بسیار پر انرژی، اساساً با پروتون‌ها ترکیب می‌شوند و در بر هم کنش با تابش زمینه میکروموج کیهانی، منجر به فرایند تولید فوتو-پایون می‌شود و در نتیجه اثر بازدارنده مشهور GZK^۲ را در شار ایجاد می‌کند [۴]. در انرژی‌های پایین‌تر، تا حدود انرژی زانو، منابع پرتوهای کیهانی در کهکشان محلی ما در نظر گرفته می‌شوند.

مدل شتاب ضربه‌ای گسیل شده می‌تواند شکل سرتاسری طیف را شرح دهد. به هر حال هنوز هیچ مدل کلی برای انرژی‌هایی که در محدوده زانو و قوزک هستند پذیرفته نشده است. مقدار عناصر سنگین در شار پرتوهای کیهانی کهکشانی بیشتر می‌باشد، اما ذرات پرتوهای کیهانی فرا کهکشانی به طور عمده پروتون‌ها هستند.

۱-۴ خواص پرتوهای کیهانی با انرژی فوق‌العاده زیاد

پرتوهای کیهانی با انرژی فوق‌العاده زیاد (UHECR)^۳، یعنی انرژی‌های بیشتر از 10^{18} eV، به دلایل مختلف مورد توجه ویژه‌ای قرار دارند. این پرتوها به این علت که خیلی کم [۵] به وسیله میدان‌های مغناطیسی کهکشان و بین ستاره‌ای که در فضا نفوذ می‌کنند، منحرف می‌شوند، ممکن است ابزار مفیدی برای

¹- Ankle

²- Greisen, Zatsepin ·kazmin

³- Ultra High Energy Cosmic Ray

یافتن چشمه تولید پرتوهای کیهانی باشند. بنابراین جهتی که آنها به زمین می‌رسند، تقریباً نشان دهنده مکان چشمه است. مثلاً یک پروتون پرتو کیهانی با انرژی $6 \times 10^{19} \text{ eV}$ که از میان یک میدان مغناطیسی منظم با شدت $3 \mu\text{G}$ ، در فاصله یک کیلو پارسک عبور می‌کند، در حد 3° منحرف می‌شود. با افزایش بار الکتریکی در انرژی‌های $E > 50 \text{ Eev}$ ، تقریباً در مورد هلیوم ($Z=2$) زاویه انحراف تقریباً بزرگتر از 10° می‌باشد و در مورد آهن ($Z=26$) به مقدار بیشتر از 50° می‌رسد.

پس برای هسته‌های سنگین‌تر، انحراف بیشتری مشاهده می‌شود و تقریباً غیرممکن است که مکان چشمه را پیدا کنیم. در سال‌های اخیر مرحله جدید جهت آشکارسازی طبیعت این پرتوها یعنی UHECR، در رصدخانه‌های HIRES و AGASA ژاپن انجام شد و امروزه نیز در رصدخانه پیراوزه آرژانتین، این مشاهدات ادامه دارد [۶]. بزودی پس از مشاهده اولین رویداد با انرژی بیشتر از 10^{20} eV آشکار شد که این ذرات، فقط می‌توانند از کیهان نزدیک به ما برسند؛ به بیان دیگر در انرژی‌های بالا سهم جهان در شار مشاهده شده قطعاً در حدود 20 Mpc در اطراف ما محدود شده است. به عبارت دیگر اگر پرتوهای UHECR از کهکشان ما بیایند، آنها نمی‌توانند از مکانی در فاصله 150 میلیون سال نوری به طرف ما بیایند.

شاید این رقم خیلی زیاد باشد اما این فقط در حد فاصله تا بعضی از کهکشان‌های نزدیک به ما می‌باشد. دلیل آن، این است که گویا آنها سرعت زیادی از طریق فضا به دست می‌آورند و آنها به طور اتفاقی با فوتون‌های تابش میکروموج (این تابش، باقیمانده انفجار بزرگ^۱ می‌باشد که کیهان را به وجود آورد) برخورد می‌کنند، مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهند و منجر به ایجاد اثر باز دارنده GZK می‌شوند.

مطابق با تحقیقاتی که توسط رصدخانه پیراوزه (Auger) صورت گرفته است چشمه این پرتوها، هسته کهکشانی فعال AGN^۲ می‌باشد.

۱-۵ پرتوهای کیهانی و سلامتی

ذرات آلفا تنها وقتی خطر ناکند که از طریق تنفسی یا گوارشی وارد بدن شوند مقدار یونیزاسیون حاصل در اثر عبور ذره آلفا از DNA به حد کافی زیاد است که می‌تواند موجب از بین بردن آن شود. انرژی آزاد

^۱ - Bang-Big

^۲ - Active Galactic Nuclei