انفجارهای پرتو گاما به عنوان یکی از منابع با انرژیترین پرتوهای کیهانی

ریحانه مرتضائی[1]، سید جلیلالدین فاطمی[1]
[1] دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

چکیده

مکانیزم تولید پرتوهای کیهانی با انرژیهای فوقالعاده بالا تا حدود زیادی مبهم است و این ناشی از این حقیقت است که این پرتوها، که عمدتاً پرتونها و هستههای یونیدهاند، در طول مسیر انتشار، در اثر برهمکنش با فوتونهای پس زمینه کیهانی (CMB) دچار افت شدید انرژی شده و نیز در میدانهای مغناطیسی کهکشانی و ماوراکهکشانی به دلیل باردار بودن دچار انحراف می-شوند. به طوری که از فاصله 100 مگاپارسک هیچ ذره بارداری به زمین نمیرسد. همین عامل شناخت منبع و ماهیت اولیه پرتوها را با مشکل مواجه میکند. در این مقاله به بررسی انفجارهای پرتو گاما به عنوان منشا این پرتوها پرداخته خواهد شد.

The Gamma-Ray Bursts as a Source of the Ultra High Energy Cosmic Rays (UHECR)

R. Mortezaei[1], S. J. Fatemi[1]
[1] Faculty of Physics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman

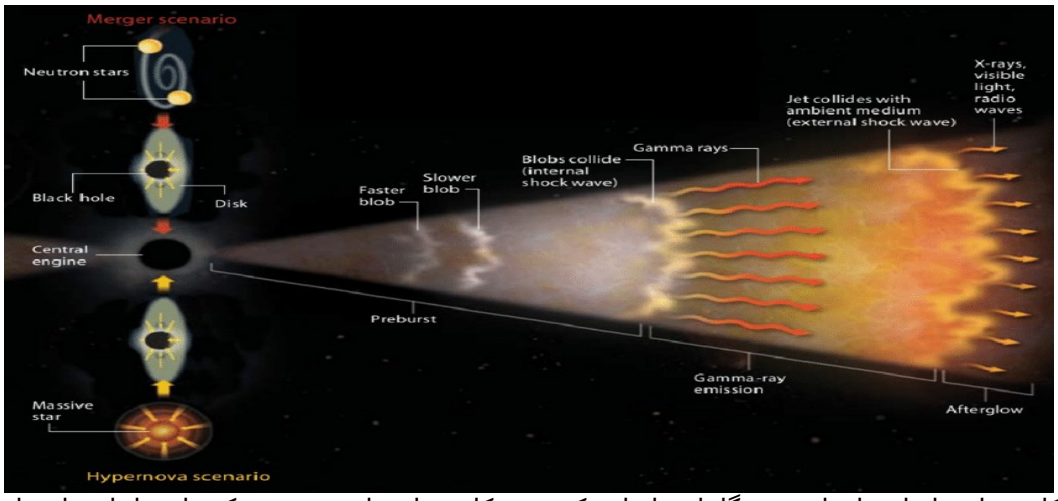
Abstract

The mechanism by which ultra high energy cosmic ray are produced is largely obscure, due to the fact that cosmic rays are, mainly ionized protons and nuclei, interact along the propagation path with The cosmic background (CMB) experiences a sharp drop in energy and is also deflected in the galactic and extragalactic magnetic fields due to ionized particles. So that from a distance of 100 Mpc, no such particles would reach the earth. This factor makes it difficult to identify the source and primary nature of the rays. In this article, gamma ray bursts as the source of these rays will be investigated.

مقدمه

انفجار پرتو گاما (GRB) به فوران ناگهانی و شدید پرتو گاما در اعماق کیهان گفته می‌شود که کسری از ثانیه تا حدود یک دقیقه طول میکشد. انرژی که GRB در یک ثانیه آزاد می‌کند از تمام انرژی که خورشید در طول عمر 10 میلیارد ساله اش آزاد می کند، بیشتر است. به علت درخشانی بالا و منحصر به فرد بودن انفجارهای گاما با توان 10^{53} ارگ بر ثانیه در هر کجای کیهان حتی بسیار دورتر از کوازارها اگر رخ دهند قابل آشکارسازی هستند. امروزه معلوم شده است که برخی از این انفجارها مربوط به ابرنواخترها، و برخی دیگر مربوط به مگنتارها هستند. آن‌ها معمولاً زمانی رخ می‌دهند که یک ستاره فوق العاده بزرگ به یک ستاره نوترونی یا یک سیاه چاله فرو می‌ریزد و یک انفجار عظیم ایجاد می‌کند [1].

در مدلهای مختلف GRB اشاره میشود که مبنای این انفجارها توسط جتهای بعضی از هستههای فعال کهکشانی (AGN) است که با توجه به شوکهای داخلی ابرنسبیتی تولید میشوند. وقتی شوکهای داخلی در حین حرکت با سرعتهای نسبیتی متفاوت، با یکدیگر تعامل داشته باشند، فعل و انفعالات باعث تولید انتشار معکوس کامپتون و سنکروترون میشوند و انفجار پرتو گاما تولید میشود [1]. در این حالت گلوله آتشین را داریم که به تابش به خاطر مقدار مناسب ماده باریونی کدر بوده، و با انبساط آن ذرات پرتوهای کیهانی به سرعتهای ابرنسبیتی میرسند و در اثر تبدیل انرژی شوک داخلی به جنبشی ذرات، پرتوهای کیهانی مورد نظر شتاب میگیرند. در ضمن با انبساط گلوله آتشین و برخورد شوکهای خارجی با محیط اطراف (محیط بین ستارهای) پستابهای انفجارهای پرتو گاما تولید میشوند [2].(شکل 1 را ملاحظه کنید)

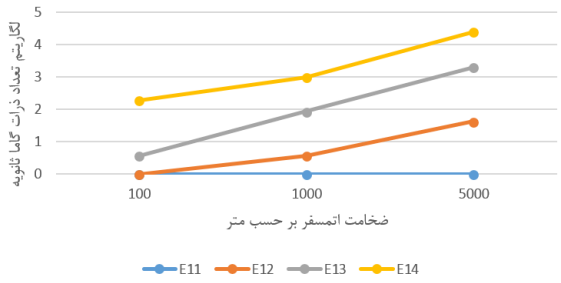


شکل 1: مکانیزم انتشار انفجارهای پرتو گاما.همانطور که در شکل نشان داده شده شوک های داخلی، انفجارها گاما را و شوک های خارجی پستاب را ایجاد میکنند.

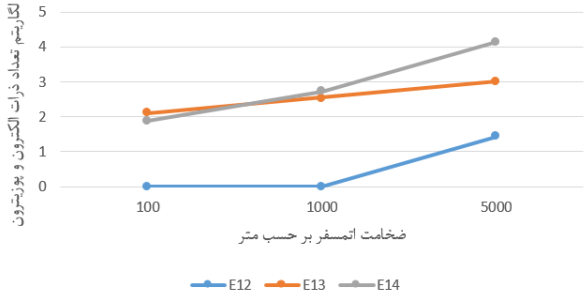
انفجارهای پرتو گاما براساس مدت زمان انفجارشان به دو دسته انفجارهای طولانی و کوتاه تقسیم می-شوند. انفجارهای طولانی دارای مدت زمان بیشتر از 2 ثانیه هستند و حدود دو سوم از انفجارها را تشکیل میدهند. انفجارهای کوتاه دارای مدت زمان کمتر از 2 ثانیه هستند. انفجارهای طولانی از طریق فروپاشی هسته یک ستاره پر جرم به یک سیاهچاله ایجاد میشوند، و تصور میشود که انفجارهای کوتاه زمانی رخ میدهند که دو ستاره نوترونی ادغام میشوند و سیاهچاله را تشکیل میدهند [3].

شبیهسازی بهمنهای حاصل از پرتو گاما

در ابتدا شبیهسازی بهمنهای گسترده هوایی (EAS) را به این منظور که آیا بهمنهای حاصل از پرتوهای گامای انفجارهای گاما که به بالای جو برخورد میکنند میتوانند بهمنی با تعداد ذرات ثانویه قابل ملاحظهای ایجاد کرده که قابل آشکارسازی توسط آرایههای EAS باشند، توسط برنامه کورسیکا انجام شد. شکل 2 و 3 یکی از نتایج شبیهسازی است که تعداد ذرات ثانویه مختلف را برای ذره اولیه گاما در گستره انرژی 10^{11}-10^{14} الکترون ولت و برای ضخامتهای مختلف جو ، 100 تا 5000 متر از سطح دریا را نشان می-دهد. همانطور که در شکلها مشاهده میشود با افزایش انرژی ذره بهمن و ضخامت اتمسفر تعداد ذرات ثانویه افزایش مییابد و با توجه به این که طیف انرژی GRB، در گستره انرژی KeV تا حداکثر TeV است، شبیهسازی، هیچ ذرات ثانویه قابل ملاحظهای برای انرژی کمتر از TeV ارائه نمیدهد.



شکل 2: نمودار تعداد ذرات گاما ثانویه بهمن برحسب



شکل 3. تعداد ذرات الکترون – پوزیترون بهمن هوایی

محاسبات ویژگی GRB

برای مدلهای GRB ابتدا به محاسبه ضریب لورنتس ماده ابرنسبیتی پرداخته میشود که مقدار $\Gamma \simeq 250$ نتیجه میشود. بعد از آن نشان میدهیم که شار پرتوهای کیهانی با شار انفجارهای گاما هماهنگی داشته و در ادامه نشان میدهیم که مقدار کل انرژی انفجارهای گاما نیز با انرژی کل پرتوهای کیهانی با انرژی بیش از 10^{20} eV هماهنگی داشته و زمان انتشار پرتوها را $\tau \geq 100yr$ را در نظر گرفتیم و با در نظر گرفتن این زمان، میدان مغناطیسی بین کهکشانی را تخمین زدیم که از مرتبه 2×10^{-11} G که با مقدار تجربی آن برابر است. بنابراین فرض $\tau > 100yr$ مورد تایید قرار میگیرد. برای مثال محاسبات تطابق شار و انرژی کل GRB و UHECR بالای 10^{20} eV در زیر آورده میشود.

شار پرتوهای کیهانی و شار GRB

آزمایشهای پرتوهای کیهانی (CR) با انرژی بالا در یک مخروط با زاویه سمتالراسی 45 درجه به مدت 10 سال رصد، میزان انفجارهای پرتو گاما $\vartheta_\gamma \ 3\times 10^{-8} Mpc^{-3}\, yr^{-1}$ ثبت کردند. برای میزان انفجارهای پرتو گاما در چنین مخروطی به فاصله 100 مگاپارسک از زمین که ماکزیمم فاصله دریافت این ذرات با انرژی 10^{20} الکترون ولت است، یکی در 50 سال مشاهده میشود. بنابراین احتمال مشاهده یک پالس CR از GRB در زمان 10 سال کم است و همخوانی منشا CR و GRB را تایید نمیکند، مگر اینکه انتشار پالس CR بیشتر باشد [3]، که این به علت انتشار ذره باردار در محیط بین کهکشانی است، که در مدت $\tau_{CR} \geq 100yr$ میباشد. این تاخیر زمانی انتشار CR از منبع تا زمین، با بررسی مقدار میدان مغناطیسی بین کهکشانی از مرتبه نانوگوس قابل محاسبه است. حال برای فاصله 50 مگاپارسک که حداکثر فاصله برای متوسط انرژیهای بالاتر از 10^{20} الکترونولت است در مدت زمان انتشار 100 سال، شار پرتوهای کیهانی طبق ذیل محاسبه میگردد. میدانیم حجم کرهای به شعاع 50 مگاپارسک برابر 4×10^5 (Mpc)^3 است بنابراین

$$\vartheta_{CR} = \frac{1}{100\, yr \times 4\times 10^5\, Mpc^3} \simeq 2.5\times 10^{-8}\, Mpc^{-3}\, yr^{-1}$$

که با شار GRB همخوانی نشان میدهد.

تطابق انرژی لازم برای تولید GRB و UHECR بالای 10^{20} الکترونولت

اگر شار مشاهده شده پرتوهای کیهانی در بالای انرژی 10^{20} الکترون ولت برابر 3×10^{-17} $m^{-2}\ s^{-1}\ sr^{-1}$ باشد و با فرض همسانگردی این پرتوها، بنابراین هر GRB باید تعداد پروتونهای بالای 10^{20} الکترونولت را طبق فرمول ذیل تولید کند.

$$N = \frac{n_{CR}}{\vartheta_\gamma\ \tau_{CR}} \qquad (1)$$

با فرض دانسیته پرتوهای کیهانی $n_{CR} \simeq 10^{-30}\ cm^{-3}$ که توسط یک GRB تولید شدهاند و زمان عمر پروتون با انرژی بیش از 10^{20} الکترون ولت $\tau_{CR} \simeq 3 \times 10^8$ y و شار GRB $\vartheta_\gamma \simeq 3\times 10^{-8} Mpc^{-3}\, yr^{-1}$ ، انرژیهای پروتونها با انرژی بالای 10^{20} الکترونولت که باید در هر GRB تولید شوند و با شار مشاهده شده برابر باشند طبق فرمول 1 محاسبه میگردد.

$$N = \frac{10^{-30} cm^{-3}}{3\times 10^8\ yr \times 3\times 10^{-8}\ Mpc^{-3}\ yr^{-1}}$$

و با توجه به اینکه یک مگا پارسک برابر 3×10^{24} سانتیمتر و همچنین $1Mpc^3 = 27\times 10^{72}\ cm^3$ است بنابراین تعداد پروتون برابر میشود با:

$$N = \frac{10^{-30}\ cm^{-3} \times 2.7\times 10^{73} cm^3}{9\ Mpc^{-3}} = 3\times 10^{42}$$

یک الکترون ولت برابر با 10^{-12} ×ـ 6/1 ارگ است. پس انرژی میانگین پروتـون هـا بـرای گسـتره انـرژی $E>10^{20}eV$ برابر است با

$$\bar{E}=3\times10^{20}\,\mathrm{eV}\simeq 4.8\times10^{8}\ \mathrm{erg}$$

پس برای کل پروتونها بـه تعـداد 3×10^{42} و انـرژی میـانگین $3\times10^{20}eV$، کـل انـرژی لازم بـرای $E>10^{20}eV$ برابر است با

$$3\times10^{42}\times1.6\times10^{8}\ \mathrm{erg}=1.44\times10^{51}\ \mathrm{erg}$$

$$E_{CR}\approx\ 1.44\times10^{51}\ \mathrm{erg}$$

ضمناً انرژی گاما در یک انفجار پرتو گامـا برابـر اسـت بـا $E_{\gamma}=2\times10^{51}$ erg. بنـابراین کـل انـرژی پرتوهـای کیهانی بیشتر از 10^{20} eV با انرژی پرتو گاما از یک انفجار همخوانی دارد. پس احتمال اینکـه این دو از یـک منبع نشات گرفته باشند، قابل تأمل است.

نتیجه گیري

برای مدلهای GRB که در این مقاله اشاره شده است، محاسبات نشان میدهد که شار و انرژی کل GRB و پرتوهای کیهانی با انرژی بیش از 10^{20} الکترون ولت با هم همبستگی نشان میدهنـد، بنـابراین انفجارهـای پرتو گاما را یکی از منابع محتمل پرتوهای کیهانی فوقالعاده پر انرژی پیشنهاد مینماییم.

سپاسگزاري

از همکاري جناب آقاي دکتر سعید دوست محمدی بـرای شـبیهسـازی بهمنهـای هـوایی صـمیمانه تشـکر مي‌کنیم.

مرجع‌ها

[1] T. Piran; “The physics of gamma-ray burst”; *Reviews of Modern Physics* **76**, No. 4 (2005) 1143-1210.

[2] P. Meszaros; “The fireball model of gamma-ray bursts”; *Progress of Theoretical Physics Supplement* **143**, (2001) 33-49.

[3] E. Waxman; “Cosmological gamma ray bursts and the highest energy cosmic rays”; *Physical Review Letters* **75**, (1995) 386.