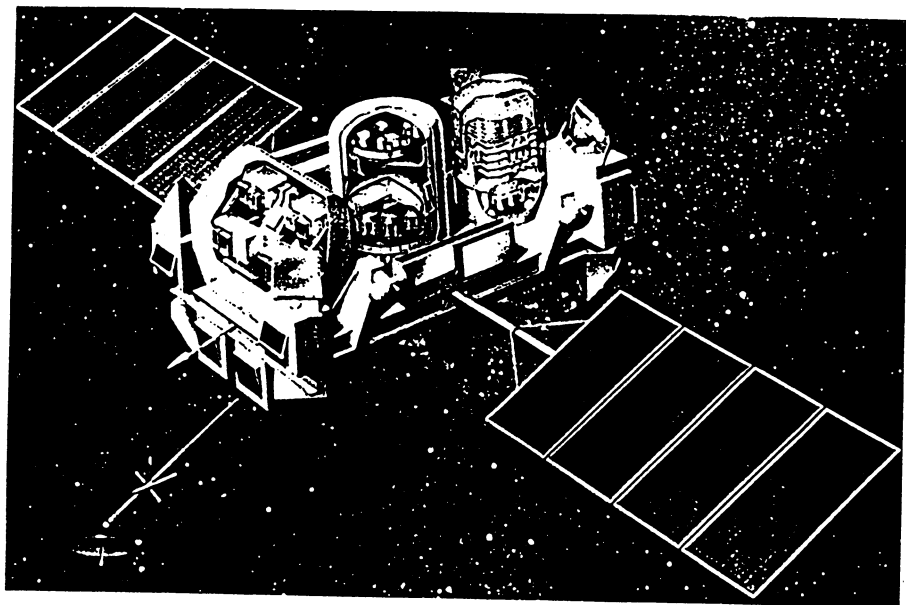


POVĚTROŇ

Občasník Astronomické společnosti v Hradci Králové
SPECIAL 2 ročník 3



GRO

— GAMA RAY OBSERVATORY (COMPTON) —

Abychom rozšířili naše vědomosti o gama vesmíru, který je objevenován od sedmdesátých let, potřebujeme, jak zjistili astronomové, observatoře se zdokonalenou citlivostí, úhlovým rozlišením a dobou životnosti. GRO je první sondou s komplexem velkých, technicky dokonalých přístrojů určených ke studiu gama záření v širokém pásmu energií. Jeho zdokonalené přístroje jsou nejcitlivější, jaké kdy byly vypuštěny. Jsou schopny zachycovat gama fotony, měřit jejich energii a určovat jejich původ s nevídanou přesností.

Průkopnická astronomická pozorování v oboru gama se uskutečnila pomocí přístrojů na balónech a menších družicích. Lepší pozorování však vyžadují masivnější detektory a delší dobu práce nad atmosférou. GRO váží téměř 17 tun a zaplňuje polovinu nákladového prostoru raketoplánu; přístroje váží kolem šesti tun a tři z nich jsou velké asi jako menší automobil.

Družice je konstruována na minimální životnost dva roky, ale tato doba může být prodloužena na čtyři roky i více. Během prvního roku práce měla vykonat detailní prohlídku vesmíru v gama záření. Později se má zaměřit na některé tajemné objekty objevené při předchozí přehlídce. Tato dlouhodobá pozorování věnovaná určitému zdroji nebo oblasti oblohy poskytnou mnohem detailnější popis vlastností objektů a procesů odpovědných za produkci záření gama.

Detekce záření gama

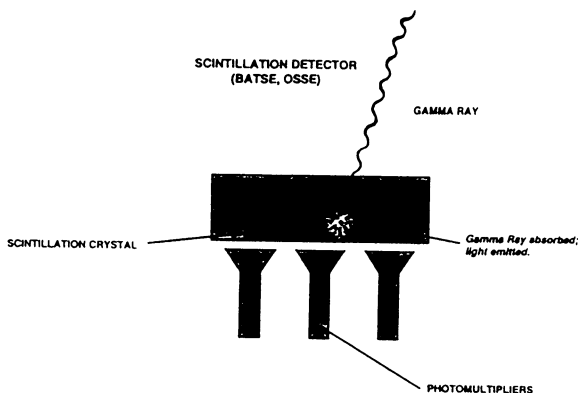
GRO nese soubor čtyř přístrojů: Burst and Transient Source Experiment (BATSE), Oriented Scintillation Spectrometer (OSSE), Imaging Compton Telescope (COMPTEL) a Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET).

Přístroje GRO jsou mnohem větší a mnohem citlivější než kterýkoli přístroj dosud vyslaný do vesmíru. Velikost přístrojů je v gama astronomii klíčová. Protože záření gama může být zaznamenáno jen při interakci s hmotou, je počet zaznamenaných jevů přímo úměrný hmotnosti detektoru. Jelikož je množství gama paprsků vyslaných zdroji malé, je třeba velkých přístrojů k zaznamenání signifikantního množství fotonů během přiměřené doby.

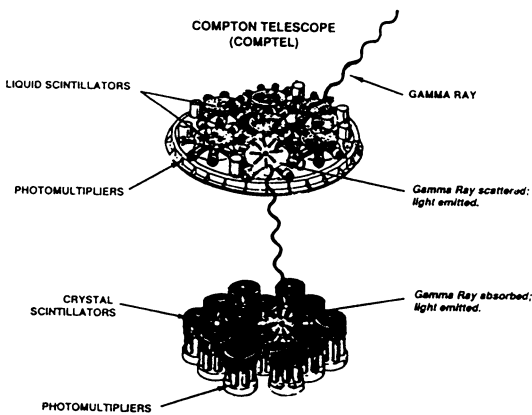
GRO zaznamenává fotony s energiemi od horního konce rentgenového záření (20 keV) až do více než 30 GeV. Při současném sledování zdrojů záření gama v daném rozsahu energií budou moci fyzikové katalogizovat energie fotonů od každého zdroje a modelovat mechanismy, které produkují záření gama. Pro pozorování v různých částech pásma gama záření je třeba užít rozdílných detekčních metod. Každý přístroj observatoře je konstruován ke sledování určitého rozsahu energií, přičemž rozsah každého z přístrojů se částečně překrývá s rozsahem jiného, takže získaná data mohou být porovnávána.

Gama záření nelze fokusovat obvyklými prostředky optické astronomie. Všechny přístroje observatoře mají scintilátory. Podobně jako fluorescenční nátěr mění UV paprsky ve viditelné záření, mění scintilátory gama záření na viditelné světlo. Jakmile gama záření interaguje s jistými typy krystalů, roztoků a jiných materiálů, produkují se záblesky viditelného světla (scintilace). Tyto světelné pulsy jsou zaznamenávány fotonásobiči - elektronickými senzory mnohem citlivějšími než lidské oko. Čím větší je světelný záblesk, tím větší byla energie gama fononu.

Naneštěstí kosmické záření (nabitě částice s vysokými energiemi) produkuje ve scintilátorech světelné záblesky podobně jako záření gama. Kosmické záření je však mnohem četnější než gama paprsky, což znamená, že snaha zachytit fotony gama na pozadí kosmického záření se podobá pozorování hvězd ve dne. Aby se odstranil vliv pozadí, musí každý z přístrojů GRO umět odlišit fotony gama záření od ostatních částic. Všechny čtyři přístroje mají



Scintillation detector



Compton telescope

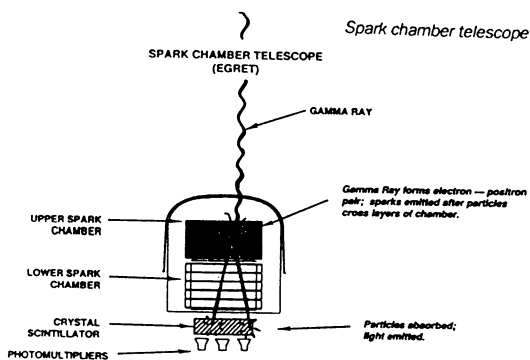
plastové vnější částicové detektory, zvané antikoincidenční čítače, které zaznamenávají kosmické záření a další nabitě částice tím, že na ně reagují jiným způsobem, než na fotony gama záření.

OSSE je určen k zaznamenávání gama paprsků od 0.1 MeV do 10 MeV vstupujících do zorného pole kteréhokoliv ze čtyř identických detektorů. Každý detektor má hlavní scintilační krystal vyrobený z jodidu sodného, který je obklopen dalšími scintilátory absorbujícími gama záření přicházející do detektoru ze strany a ze spodu. Masivní kolimátor, který definuje zorné pole $3,8^\circ \times 11,4^\circ$ zajišťuje nasměrování přicházejícího záření přímo na detektor. Detektory se mohou otáčet, aby se umožnila pointace na zdroj nebo naopak namíření přístroje mimo zdroj k proměření pozadí. Odečtení pozadí od hodnot naměřených při pozorování zdroje umožňuje OSSE zjistit intenzitu a spektrum i pro velmi slabé zdroje gama záření.

BATSE pozoruje celou oblohu (kromě oblasti zakryté Zemí) a zaznamenává změny v toku gama záření. BATSE je optimalizován ke sledování gama záření o nízkých energiích od 20 keV do 600 keV a dokáže zaznamenat změny intenzity gama záření v časových intervalech zlomků milisekund.

S rostoucí energií fotonů gama záření mohou vědci snáze odlišit gama paprsky od částic kosmického záření podle rozdílných způsobů jejich interakce s hmotou v detektoru. COMPTEL pozoruje gama záření od 1 MeV do 30 MeV, přičemž fotony z této oblasti energií jsou rozptylovány na elektronech v kapalinových detektorech. Tento proces, zvaný Comptonův rozptyl, nastává pouze při interakci elektronů s fotony o vysokých energiích a nikoli při interakci elektronů a nabitých částic. Rozptýlené gama záření je poté zaznamenáno systémem krystalových detektorů.

Přístroj EGRET je sestaven tak, aby zaznamenával záření gama o nejvyšších energiích. Když vstupuje foton s energií vyšší než 10 MeV do kovových vrstev detektoru, zvaného



jiskrová komora, produkuje se elektron a jeho antimotový ekvivalent - pozitron, který se chová poněkud odlišně. Stopy, které částice zanechají, a úhel mezi nimi odpovídají energii vstupujícího gama záření.

Všechny přístroje měří energie jednotlivých gama fotonů, avšak výsledná data se objevují v různých formátech. BATSE a OSSE produkují spektra, která pomáhají identifikovat druhy jader a procesů ve zdrojích gama záření.

záření. COMPTEL a EGRET sbírají spektrální data a zároveň skládají obrazy oblohy v záření gama. Čtyři přístroje GRO jsou schopny studovat zdroje 10 krát až 50 krát slabší než byly pozorovány dříve, čímž se rozšíří objem pozorovatelného gama vesmíru až 300 krát.

Určování poloh zdrojů záření gama

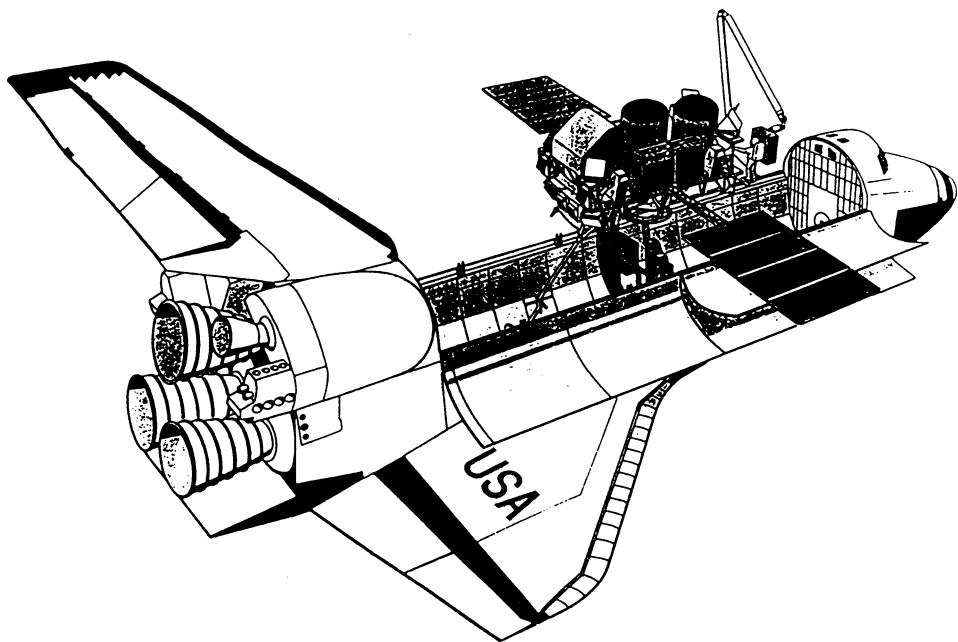
Družice GRO poskytuje vědcům data nutná pro lokalizaci zdrojů záření gama. Sonda zaměřuje přístroje na určitou oblast oblohy po dobu kolem dvou týdnů. Přístroje jsou pointovány s maximální odchylkou půl stupně od určeného směru, přičemž tento směr je určen s přesností do dvou obloukových minut ($0,03^\circ$). Čas je neustále zaznamenáván s přesností na desetitisíciny sekundy, což je nejlepší přesnost v historii kosmických letů. Výška sondy, časový okamžik a poloha sondy na dráze jsou zaznamenávány a předávány na zem. Vědci pak tyto údaje použijí spolu s daty přístrojů GRO k určení polohy zdrojů. Přesnost určování času je důležitá kvůli korelaci měření sondy s pozorováními z jiných sond nebo pozemských observatoří.

Rozlišovací schopnost (schopnost odlišit dva blízké objekty) každého z detektorů je přímo úměrná schopnosti přesně zaznamenávat polohy zdrojů. Dřívější přístroje zaznamenaly gama záření od více než třiceti zdrojů, ale většina těchto zdrojů nebyla identifikována v optickém, rádiovém či rentgenovém oboru. V nejlepším případě byly zdroje lokalizovány s přesností jednoho stupně, což je oblast odpovídající dvojnásobnému zdánlivému průměru Měsíce v úplňku. V takové oblasti je příliš mnoho objektů, takže nelze s jistotou říci, který z nich je zároveň zdrojem záření gama.

Přístroje GRO jsou běžně schopny zaznamenat polohy zdrojů s přesností zlomků stupně. EGRET (a v omezené míře i COMPTEL) může lokalizovat zdroje s přesností $0,1^\circ$, což je jedna pětina zdánlivého průměru Měsíce v úplňku. To umožňuje pozemským a jiným kosmickým observatořím přesněji zaměřit oblast, ve které se zdroj nachází, a hledat jeho protějšek v optickém nebo jiném záření. Očekává se, že se svou rozlišovací schopností a možností dlouhých expozičních časů, budou přístroje GRO dosahovat desetkrát vyšší přesnosti než dosavadní přístroje.

Činnost observatoře

Existence raketoplánu umožňuje dopravovat observatoře o vysoké hmotnosti na oběžnou dráhu, za hranice zemské atmosférické obálky. Ve výšce 450 km vyjme automatické rameno



sondu z raketoplánu a vypustí ji do prostoru.

Orbitální výška je zvolena tak, aby se minimalizoval vliv nabitých částic zachycených magnetickým polem Země a zároveň aby byla sonda dost vysoko, aby se redukoval vliv atmosférického tření, který způsobuje ztrátu výšky. Sonda má také systém motorů, které se dají využít k urychlení tělesa a tím k jeho udržení na oběžné dráze po mnohem delší dobu, než je minimálně dvouletá životnost. V případě, že bude palivo motorů spotřebováno, může být doplněno posádkou raketoplánu, nebo může být sonda urychlena pomocí plánovaného tahače OMV (Orbital Maneuvering Vehicle).

Sonda také poskytuje základní služby vědeckým přístrojům: energii, počítačnou kontrolu, tepelnou kontrolu, přesnou časovou základnu, záznam a přenos dat. K ochraně přístrojů před drsnými tepelnými extrémy kosmu se používají tepelné výměníky a izolace. Dva sluneční kolektory dodávají energii do šesti NiCd baterií, které dodávají výkon kolem 2000 wattů.

Během obíhání sondy kolem Země jsou tři z přístrojů (OSSE, COMPTEL a EGRET) pevně zaměřeny na objekt ve vzdáleném vesmíru. V průběhu každého z 93 minutových úseků, kdy Země blokuje jejich výhled, mohou být kalibrovány a připravovány na následující pozorovací období. Naproti tomu BATSE má detektory na obou stranách observatoře, takže vždy vidí alespoň část oblohy. Detektory OSSE se mohou otáčet, což umožňuje, aby byly případně přeorientovány na Slunce nebo na jiný objekt v době zákrytu hlavního sledovaného zdroje.

Zorné pole každého z přístrojů určuje, jak velká část oblohy může být pozorována jednou expozicí. Detektory BATSE sledují asi dvě třetiny oblohy. OSSE vidí obdélníkovou oblast $3,8^\circ \times 11,4^\circ$; EGRET obsáhne zorné pole 30° a zorné pole COMPTELu je 60° . Přístroje jsou na GRO umístěny tak, aby si vzájemně nezakrývaly zorná pole. Směrové úhly tří pointovaných přístrojů jsou vzájemně vázány tak, aby se umožnilo simultánní studium jednotlivých zdrojů v celé širší energii gama spektra.

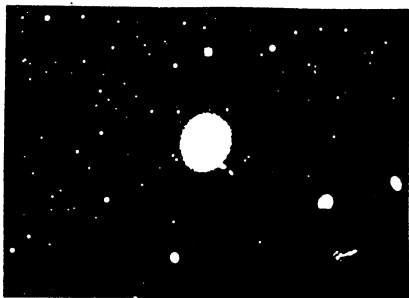
Pozorovací program navrhli stejní vědci, kteří se podíleli na konstrukci přístrojů GRO. Plán předpokládá, že COMPTEL a EGRET stráví první rok prohlídkou celé oblohy, přičemž každé pole bude sledováno po dobu dvou týdnů. Současně bude OSSE zaznamenávat spektra objektů v těchto oblastech. BATSE bude pozorovat záblesky, sluneční vzplanutí a další přechodné jevy.

Jestliže se objeví zajímavý objekt, jako např. supernova, může být sonda dočasně přeorientována a poté vrácena k plánovanému programu.

Každý z přístrojů odesílá data ze svého procesoru do centrálního datasytému observatoře, kde jsou data uchovávána a později předávána počítačům na Zemi. Data jsou předávána pomocí družice TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) do Goddardova střediska GSFC (Goddard Space Flight Center), konkrétně do řídicího centra POCC (Payload Operations Control Center). Vědci z konstrukčních týmů budou v počátečních fázích činnosti observatoře pracovat v POCC, aby pomohli interpretovat získaná data. Ve většině případů bude třeba užít rozsáhlého elektronického zpracování dat, aby se vyloučil vliv pozadí a určit skutečný tok gama záření od zdrojů.

NASA plánuje hostitelské výzkumné programy pro širokou vědeckou astronomickou obec, aby byly dokonale využity schopnosti a možnosti observatoře. Pozorovací plán na druhý rok práce je určen podle výsledků pozorování v prvním roce. Je velmi pravděpodobné, že mise bude prodloužena na delší dobu, než původně plánované dva roky.

GAMA VESMÍR



M87

Mezi kosmické procesy považované za dostatečně energetické, aby produkovaly záření gama, patří mimo jiné radioaktivní rozpad, pohyb urychlených částic v oblastech se silným magnetickým polem, kolize elektronů spojené s předáváním energie nízkoenergetickým fotonům a jejich urychlováním do oblasti gama energií, kolize velmi energetických jader s jinými jádry, energetické "brzdění" elektronů při průchodu hmotou a anihilace hmoty a antihmoty. Přístroje Gamma Ray Observatory se budou snažit zachytit záření pocházející z těchto procesů, což může být v mnoha případech jediná cesta k jejich zkoumání.

Lokalizovanými zdroji záření gama jsou především supernovy, kvasary, jádra aktivních galaxií, pulsary a neutronové hvězdy, gama záblesky a černé díry.

Jak vzniká záření gama

Místa, ve kterých vzniká záření gama, jsou středem zájmu vědců, kteří si kladou otázky o silách, které hýbou vesmírem, o podstatě explozivních událostí a o vývoji hvězd a galaxií. Jak vzniká vesmír? Bude se neustále rozpínat, nebo jednou skončí obrovským kolapsem? Jak mohou být nabitě částice urychlovány až na neuvěřitelné energie? Jaká je podstata kvasarů a

co je příčinou jejich výkonnosti? Co způsobuje občasné intenzivní záblesky gama záření na obloze? Co se děje v jádrech galaxií; existují tam masivní černé díry? Odkud pochází gama záření kosmického pozadí? Existují hvězdy a galaxie z antihmoty? Jak vlastně vznikají prvky těžší než vodík a hélium? Astronomové doufají, že GRO zodpoví alespoň některé z těchto otázek.

Protože záření gama má vysokou energii, může procházet většinou mezihvězdné hmoty, která nám překáží ve výhledu na jiných vlnových délkách; protože gama fotony nemají žádný elektrický náboj, jejich pohyb není ovlivňován magnetickými poli. Tyto vlastnosti dovolují vědcům zkoumat záření gama od vzdálených zdrojů a s jeho pomocí nalézat procesy, v nichž se gama záření produkuje.

Spektrální otisky prstů daného zdroje obsahují informace o hustotě, teplotě a chemickém složení zdroje. Atomy a molekuly absorbují nebo emitují záření o energiích odpovídajících infračerveným, optickým nebo ultrafialovým vlnovým délkám; pomocí záření gama mohou být identifikována jádra prvků, jejich radioaktivní izotopy a jaderné reakce. Technikou jaderné spektroskopie, což je detailní studium závislosti intenzity záření na energii fotonu, mohou astronomové modelovat fyzikální podmínky panující ve zdrojích záření. Z těchto modelů pak mohou být odvozeny teorie o vzniku prvků při explozích a kolapsech obřích hvězd, o urychlování nabitých částic na rychlosti blízké rychlosti světla a o destrukci hmoty a antihmoty - to vše jsou procesy spojené s produkcí záření gama.

Nukleosyntéza

Pozorování v oboru gama potvrdilo jednu z ústředních teorií moderní astronomie. Že totiž těžší prvky vznikají fúzí atomů lehčích prvků, což je jev známý jako nukleosyntéza. Předpokládá se, že většina prvků těžších než křemík, vzniká během obrovských hvězdných explozí známých jako supernovy. Přístroje, které jsou umístěny na palubě GRO, prozkoumají, zda gama záření vydávané obálkami známých supernov pochází z radioaktivního rozpadu. Jestliže se radioaktivní rozpad nestabilních prvků na stabilní objevuje v supernovách, pak by mělo záření gama produkované zbytky supernov obsahovat spektrální čáry příslušející k určitým radioaktivním prvkům, což by mělo poskytnout náhled na detaily o nukleosyntéze.

Urychlování částic

V různých oblastech kosmu se nacházejí nabitě částice, jako jsou elektrony, protony a těžší jádra, které jsou urychlovány na velmi vysoké energie. Tyto procesy zahrnují největší energetické jevy ve vesmíru a zahrnují také interakce částic s magnetickými, elektrickými a gravitačními poli, ve kterých se nacházejí. Gama záření může být produktem interakcí urychlených částic s poli, s jinými částicemi a s fotony v dané oblasti. Pozorováním spektrálního rozložení gama záření mohou astronomové získat informace jednak o procesu urychlování a také o charakteristikách daných polí.

Anihilace hmoty a antihmoty

Teorie říká, že každá částice hmoty o určité hmotnosti a o určitém náboji, má protičástici antihmoty o stejné hmotnosti, ale s opačným nábojem. Například záporně nabitému elektronu odpovídá kladně nabitá částice antihmoty - pozitron. Jestliže částice antihmoty a hmoty interagují, jsou obě zničeny, což je doprovázeno vznikem gama paprsku. Například kolize

mezi pozitronem a elektronem zničí obě částice a vyprodukuje energii ve formě dvou gama paprsků, z nichž každý nese energii 511 keV. Fotony o známé anihilační energii, které jsou detekovány GRO, mohou přivést vědce k nalezení oblastí, které obsahují nezanedbatelné množství interagující hmoty a antihmoty.

Zdroje záření gama

Supernovy

GRO bude zkoumat známé zbytky supernov, přičemž bude hledat důkazy pro nukleosyntézu. Hvězdy, které se stanou supernovami, jsou mnohokrát hmotnější než Slunce a spalují svůj vodík za dobu kolem deseti milionů let. Jak je spotřebováván vodík, postupně se zvyšuje vnitřní gravitační tlak, až se vodíková jádra v jádře hvězdy spojí a vytvoří hélium, které se začne spalovat později, až teplota zase vzroste. Pod vlivem teploty a gravitace se produkují prvky o stále větší hmotnosti, až je hvězda nakonec složena z tak těžkých prvků, jako je železo v jejím středu, obklopené obálkami lehčích prvků až po nejlhčí vodík. Jakmile jádro hvězdy obsahuje pouze železo, není již možná další nukleární reakce. V tu chvíli hvězda kolabuje do malého, ale velmi hustého jádra z neutronů. Během kolapsu hvězdy vznikne obrovská, velmi rychlá zpětná rázová vlna, která odhodí vnější vrstvy hvězdy. Zároveň dojde k vyzařování energie v celém rozsahu energetického spektra. Na chvíli může supernova dokonce přesvítit i celou galaxii. Vědci si myslí, že většina viditelného světla, které vychází ze supernov, je nepřímo produkována radioaktivním rozpadem prvků vzniklých při explozi. Tento rozpad může být nyní přímo pozorován v oboru gama.

Neutronové hvězdy a pulsary

O neutronových hvězdách se předpokládá, že jsou to zkolabované zbytky hvězd, které prošly fází supernovy. Tyto velmi malé a velmi husté hvězdy mají neuvěřitelně silná magnetická a gravitační pole. Odpudivé síly produkované velkým nahuštěním neutronů jsou v rovnováze se silami, které produkuje gravitace, což zabraňuje hvězdě v dalším smršťování. Rotující neutronové hvězdy, tak zvané pulsary, vyzařují rádiové vlny v pravidelných intervalech podobně jako světlo majáku. Dva z těchto pulsarů jsou také pozorovatelné v oboru gama a ve viditelném světle a jeden v rentgenovém záření. Zatímco mnohé neutronové hvězdy mohou být pulsary, jenom ty, jejichž světelný paprsek protíná Zemi, mohou být zaznamenány. Z rádiových pozorování pulsarů bylo provedeno zatím nejpresnější určení intenzity mezihvězdného magnetického pole. Některé pulsary dokonce rotují tak pravidelně, že mohou být použity jako standardní hodiny.

Jedním z největších úspěchů gama astronomie až do současné doby byl objev periodické gama emise ze dvou rádiových pulsarů a náznaky podobných jevů od jiných objektů. Otáčející se neutronové hvězdy účinně přeměňují rotační energii na gama záření. Zatím není pro tento jev jasné vysvětlení. Předpokládaná citlivost přístrojů GRO dává naději, že bude pozorováno mnoho dalších pulsarů podobného typu.

Kvasary

Kvasary jsou nejenergetičtější známé objekty ve vesmíru a leží ve vzdálenostech miliard světelných let. Žádná jiná třída vesmírných objektů nevydává více energie. Až do dnešního dne byl pouze jediný kvasar - 3C 273 - identifikován jako zdroj gama záření. Sonda COS B zjistila, že polovina energie z tohoto podivného objektu je emitována formou gama záření. Tento objev naznačuje, že GRO může zachytit mnoho takových objektů. Název kvasar je zkratkou pro kvazistelární rádiový zdroj, což naznačuje určitou nejistotu ohledně původu těchto objektů. Ačkoli je známo, že kvasary blikají a jejich rádiové a viditelné vyzařování se mění v časových škálách od dnů do týdnů, astronomové nemají jasno v tom, co kvasary ve skutečnosti jsou, dokonce ani proč mohou být tak jasné. Mohou to být jádra explodujících galaxií nebo jádra aktivních galaxií, které nemají viditelné vnější oblasti (ramena) kvůli jejich obrovské vzdálenosti, nebo krátkému věku.

Aktivní galaxie

Normální galaxie září složeným zářením jejího obrovského množství hvězd. Většina záření je vydávána ve viditelném světle. Naproti tomu aktivní galaxie září jasněji v rádiovém, infračerveném nebo rentgenovém oboru, nebo dokonce v gama oboru. Zvláštností většiny aktivních galaxií jsou změny intenzity jejich vyzařování, které se mohou měnit od týdnu k týdnu, nebo dokonce z hodiny na hodinu. Důvody těchto změn jsou příčinou mnoha spekulací. V centru aktivních galaxií mohou být místa sporadických synchrotronních procesů (interakcí elektronů se silným magnetickým polem), které mohou způsobovat proměnnost, anebo mohou série explozí urychlovat elektrony na rychlosti blízké rychlosti světla. Většina astronomů se domnívá, že v centrech aktivních galaxií sedí masivní černé díry a že akrece materiálu z jejich okolí je zdrojem neuvěřitelně energetického výstupu těchto galaxií.

Záblesky a pomíjivé zdroje

Občas se na celé obloze objevují intenzivní sporadické záblesky gama paprsků. Je velmi obtížné je studovat v detailech, protože jejich objevení je neočekávané a jejich trvání krátké. Na různých kosmických sondách je zaznamenáno okolo stovky gama záblesků za rok. Během svého krátkého života záblesk přesvítl všechny gama zdroje dohromady. Záblesk, o kterém se předpokládá, že pochází z Velkého Magellanova mračna, a který byl pozorován v roce 1979, vydal více energie v gama záření během jedné desetiny sekundy než vydá Slunce za tisíc roků. Existuje mnoho teorií o povaze záblesků. Většina astronomů se však přiklání k tomu, že se vztahují k neutronovým hvězdám a jejich intenzivním magnetickým polím a že se většinou nacházejí uvnitř naší Galaxie.

Černé díry

Podle teorie může masivní hvězda zkolabovat až téměř do bodového objektu. Gravitace tohoto objektu přitahuje blízkou hmotu i záření. Nic nemůže uniknout. Dokonce ani světlo a astronomové to nazývají černou dírou. Není možné zaznamenat černou díru přímo, ale blízké okolí se může projevat vysokoenergetickou aktivitou. Blízko místa, odkud není návratu, je

nasávána hmota do černé díry pod obrovským tlakem, za obrovské teploty a při relativistických rychlostech. Tato oblast, známá jako horizont událostí, vyzařuje gama fotony. Fotony produkované blízko horizontu událostí mohou pomoci poznat podstatu černé díry. Černé díry již byly nepřímo objeveny.

Naše Mléčná dráha

Difúzní záření gama emise od roviny Mléčné dráhy již bylo pozorováno. Ale nebyla zatím určena ani fyzikální podstata tohoto záření, ani stupeň jakým se na něm podílejí občasně neregistrované diskrétní zdroje. Také kosmické paprsky, které obsahují převážně vodíková a heliová jádra o vysokých energiích a jsou přítomny všude v mezihvězdném prostoru, mohou svými interakcemi přispívat k difúzní gama emisi. Je také známo, že nerozpoznané emise z lokálních zdrojů musí tvořit jistou část pozorovaného gama záření. Těmito zdroji mohou být masivní objekty, jako jsou černé díry a neutronové hvězdy, které můžeme najít ve dvojhvězdách, ve zbytcích supernov, v novách nebo v kosmickém záření interagujícím s molekulárními oblaky nebo jinými oblastmi o vysoké hustotě hmoty. Také se předpokládá, že gama záření přispěje k odhalení výkonu naší Galaxie a přispěje k našim znalostem o formování a vzniku galaxií.

Plošné zdroje

Pozorování plošných zdrojů v naší Galaxii dává naději na získání mnoha informací o dynamice velkoškálových struktur. Principiálně je to možné díky interakcím kosmického záření s různě rozloženou hmotou - plynem a prachem - v mezihvězdném prostoru. Takové oblasti sahají od mezihvězdných mračných komplexů, jako jsou Orion a ró ophiuchi, které jsou velké několik světelných let, až po velkoškálové struktury, jako jsou spirální ramena naší Galaxie. Díky mnohem detailnějším pozorováním těchto oblastí může být zjištěno mnohé o rozdělení kosmických paprsků a hmoty v Galaxii a o dynamické rovnováze mezi expanzním tlakem plynu nabitých částic kosmického záření, galaktickými magnetickými poli a termálním pohybem hmoty a na druhé straně gravitačním polem, které poutá všechny části Galaxie.

Extragalaktická difúzní radiace

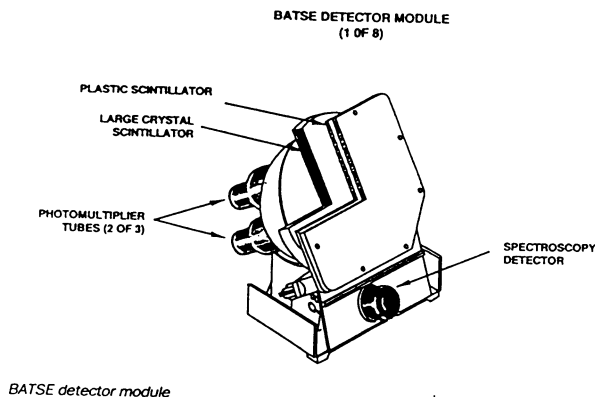
Oblouha vydává velice stejnorodé záření o energiích ležících v oboru gama. Předpokládá se, že toto difúzní pozadí má původ hlavně mimo Mléčnou dráhu. GRO bude studovat původ a povahu tohoto záření, které může pocházet od událostí, které se objevily v dobách těsně po velkém třesku.

Neidentifikované zdroje

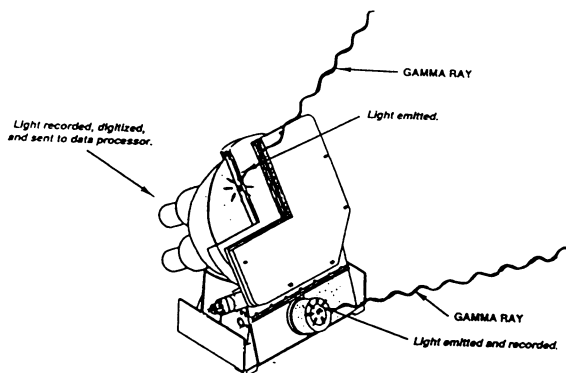
Více než 30 galaktických zdrojů již bylo zaznamenáno při dřívějších pozorováních v oboru gama. Mnohé z nich zůstávají neidentifikovány se zdroji v jiných vlnových délkách. Je to nová velká třída objektů pozorovatelných pouze v gama záření nebo jsou to jednoduše lokální fluktuační hmoty a intenzity kosmického záření? Zlepšená citlivost a rozlišovací schopnost GRO může poskytnout data potřebná k rozluštění této otázky, jedné z největších záhad gama astronomie.

PŘÍSTROJE GRO

Burst and Transient Source Experiment (BATSE)



BATSE detector module



BATSE gamma-ray detection

Prvotním cílem BATSE je výzkum záhadného jevu záblesků gama. Ačkoli jsou extrémně energetické, je obtížné je studovat, protože jde o krátké úkazy, jejichž čas objevení a poloha na obloze jsou náhodné. Původ záblesků je nejistý a vědci dosud nevědí s jistotou, jaký proces je produkuje.

Protože se záblesky objevují náhodně v čase i poloze, je BATSE konstruován tak, aby mohl sledovat co největší část oblohy. To je zajištěno osmi detektory umístěnými v rozích sondy. Čtyři detektory jsou namontovány na horní straně, čtyři na spodní, a tak může BATSE pozorovat celou část oblohy nezakrytou Zemí (přibližně 2/3).

Jelikož ostatní přístroje mají omezené zorné pole, slouží BATSE zároveň jako širokouhlý monitor, který zaznamenává a vyhledává silné přechodné zdroje a záblesky známých zdrojů z celé oblohy. Jakmile BATSE zaznamená vysoký tok gama záření, je odeslán signál ostatním přístrojům GRO.

Některé (nebo dokonce všechny) přístroje observatoře pak mohou pozorovat simultánně ve velkém rozsahu energií a spektra v různých energetických rozsazích pak mohou být porovnávána.

Záblesky emitují více gama paprsků v oblasti nízkých energií než v oblasti vyšších energií. Proto je BATSE optimalizován pro záznam gama fotonů od 20 keV do 600 keV, ale detektory jsou citlivé na gama záření až do 100 MeV.

Aby mohl zaznamenávat vysoký tok fotonů přicházejících do detektorů v průběhu několika sekund, má BATSE speciální datasystém s velkou pamětí, do které se zaznamenávají velká množství dat v krátkých časových intervalech. Přístroj měří časové změny průběhu jevu ve

zlomcích milisekund, což umožňuje studovat rychlé změny v průběhu záblesku. To také vědcům umožňuje sledovat periodické emise ze zdrojů, které mohou mít například souvislost s rotací neutronových hvězd.

Hlavním detektorem v každém z osmi modulů je disk z jodidu sodného o průměru 50,8 cm (20 palců) a tloušťce 1,27 cm (0,5 palce). Jde o krystaly podobné tvarem a velikostí těm, které se používají v gama kamerách pro lékařské účely. Protože krystaly jsou mnohem větší než v dřívějších přístrojích, registrujících záblesky záření gama, je BATSE 20x citlivější než staré detektory. Jednotlivé záblesky mohou být studovány s dosud nedosažitelnou přesností v určení časového průběhu a spektrálního vývoje. Zlepšená citlivost umožní pozorovat i slabé záblesky, přibližně 10x slabší než kdykoli v minulosti. Zadní stěna krystalů je pokryta světelným kolektorem, který účinně svádí scintilační záblesky do tří fotonásobičů o průměru 12,7 cm (5 palců). Gama záření je absorbováno v krystalových scintilátorech, které produkují světlo zaznamenané fotonásobiči jako elektrické signály. Tyto signály jsou zpracovány elektronickou jednotkou detektoru a poté předány do centrální elektronické jednotky, jež zpracovává a uchovává velké objemy dat, která později předává na Zemi.

Aby se omezila radiace pozadí, je přední strana každého modulu kryta plastovým štítem, který zachycuje nabitě částice. Zadní část detektorů je kryta olověným štítem, aby se odstranilo rozptýlené záření.

Každý modul BATSE má ještě menší sekundární spektroskopický detektor. Tyto detektory nejsou tak citlivé jako hlavní detektory, ale pokryjí větší rozsah energií (20 keV až 100 MeV) a měří energii fotonů s větší přesností. Spektroskopické detektory sestávají ze scintilačních krystalů NaI o průměru 12,7 cm (5 palců) a tloušťce 7,62 cm (3 palce). Vyšší energetické rozlišení plyne z menší velikosti, která umožňuje připojení scintilátoru k jedinému fotonásobiči.

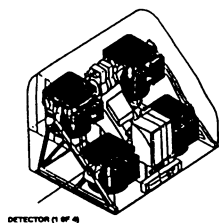
Důležitým cílem BATSE je určování polohy zdrojů gama záblesků. Každý záblesk je zaznamenán nejméně čtyřmi detektory, což pomůže vědcům zaměřit zdroj s přesností jednoho až deseti stupňů v závislosti na výkonu zdroje. To je mnohem větší přesnost než v předešlých experimentech. V případě nejsilnějších záblesků mohou být data z BATSE korelována s měřeními z jiných sond, čímž se získají velmi přesné polohy (přibližně 1').

Získané polohy jednotlivých zdrojů mohou být využity k vyhledávání optických záblesků na archívních fotografických deskách stejných oblastí, které by mohly souviset s některými gama záblesky. V případě detekce dřívějších optických záblesků lze určit přesnou polohu odpovídajícího zdroje gama záření. V důsledku schopnosti zpracovat polohu záblesku s jedinečnou přesností a rychlostí vzniká vůbec poprvé možnost korigovat pozorování jednotlivých záblesků v jiných oborech (optickém, rádiovém a infračerveném) krátce po objevu.

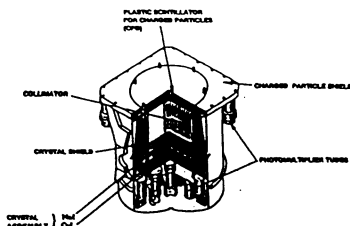
Očekává se, že BATSE zaznamená přibližně 100 až 400 záblesků ročně. Čím více záblesků bude zaznamenáno, tím lépe budou astrofyzikové schopni katalogizovat rozdělení zdrojů a určit, zda zdroje pocházejí z naší Galaxie nebo z jiných galaxií, jak předpokládají některé modely. Výsledkem experimentu BATSE bude mapa oblohy, která ukáže rozdělení zdrojů a umožní korelaci se známými kategoriemi optických objektů.

Oriented Scintillation Spectrometer Experiment (OSSE)

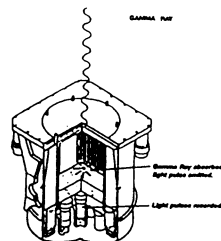
Přístroj OSSE je určen k měření spektra a časové proměnnosti záření gama od blízkých zdrojů, jako je Slunce, až po aktivní galaxie vzdálené miliardy světelných let a více. OSSE je zvláště citlivý na spektrální projevy radioaktivních prvků. To umožňuje studovat explozivní objekty jako jsou supernovy a novy, což jsou předpokládané zdroje vzniku těžkých prvků. Radioaktivní rozpad některých takových prvků vykazuje projevy, podle nichž lze studovat



OSSE instrument



OSSE detector module (1 of 4)



OSSE gamma-ray detection

zdrojové procesy. OSSE bude například mapovat koncentraci radioaktivních izotopů hliníku v naší Galaxii, aby se zjistilo, zda pochází ze supernov nebo z jiných zdrojů.

OSSE je optimalizován pro detekci gama záření od 100 keV do 10 MeV, což je oblast ve které leží emisní čáry mnoha radioaktivních prvků. K identifikaci prvků, které produkují záření gama, používá OSSE sadu čtyř detektorů měřících s velkou přesností energie fotonů. Tato měření jsou znázorňována graficky, aby se objevily emise v určitých energiích - spektrální čáry, jakési otisky prstů radioaktivních prvků. Široké emise mezi spektrálními čarami, neboli kontinuum, poukazují na fyzikální podmínky (jako je teplota, rychlosti částic, intenzita magnetického pole) v oblasti zdroje.

Každý ze čtyř identických detektorů má jednoosý pointační systém, který se využívá k natočení detektoru mimo sledovaný zdroj k provedení měření pozadí. Tato možnost je využívána i k prohlížení zdrojů v jiných částech oblohy v době, kdy je zorné pole sondy zakryto Zemí. Protože se detektory mohou pohybovat nezávisle na observatoři, je OSSE schopen zkoumat náhlé sluneční erupce a přechodné zdroje bez přerušení pozorovacího programu ostatních přístrojů GRO.

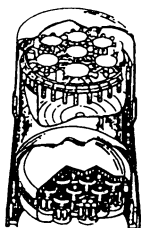
OSSE je obklopen dalšími detektory, které vylučují jevy spojené s lokálně produkovaným pozadím a kosmickým zářením. Krystal CsI je umístěn přímo u hlavního krystalu NaI a absorbuje gama záření, které vstupuje do detektoru zezadu; prstencový NaI štít cloní radiaci ze stran; a plastový scintilátor vylučuje události produkované interakcemi kosmického záření. Wolframový kolimátor definuje zorné pole 3,8 x 11,4 stupňů. Sedm fotonásobičů připojených k hlavnímu krystalovému systému zaznamenává scintilační záblesky produkované při absorpci gama záření v krystalech NaI. Světelné pulsy jsou převedeny na digitální signál pomocí systému pro získávání a kontrolu dat. Normálně je spektrum osamocenému zdroje získáváno každé čtyři sekundy.

OSSE může pracovat v několika různých režimech, v závislosti na typu zdroje, který je právě studován. Při studiu rychle rotujících pulsarů jsou časy akumulace spekter zkracovány, aby se zajistilo vysoké časové rozlišení - až 0,125 milisekund. Druhý režim, užitečný při pozorování záblesků, umožňuje skládání odrazů ze všech čtyř detektorů a jejich zaznamenávání každé 2 milisekundy.

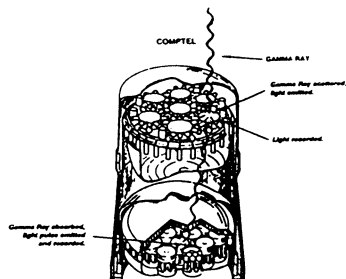
OSSE může určovat směr k izolovanému zdroji na zlomky stupně, pokud pracuje v pozičním režimu. V tomto režimu je zaměřovací schopnost přístroje využívána k lokalizaci zdroje v několika místech zorného pole a spolu s užitím známého úhlového omezení kolimátoru k co nejpřesnějšímu určení polohy zdroje na obloze.

Velikost, počet a tvar krystalů minimalizující vliv pozadí umožňují OSSE dosáhnout znatelného zlepšení v porovnání s dříve používanými přístroji. OSSE dokáže zaznamenat emise záření gama a kontinuum ve spektru s citlivostí 10x až 20x lepší než předchozí přístroje.

Imaging Compton Telescope (COMPTEL)



COMPTEL instrument



COMPTEL gamma-ray detection

COMPTEL je přístroj podobný optické komoře: vstupní detektor, který je analogií objektivu kamery, usměřňuje gama paprsky na druhý detektor (analogický fotografickému filmu), ve kterém je rozptýlený foton absorbován. Ačkoli fotony nejsou fokusovány jako v případě optické kamery, COMPTEL je schopen rekonstruovat obraz oblohy v poměrně velkém zorném poli.

COMPTEL zaznamenává záření s energiemi 1 MeV až 30 MeV, což bylo u dřívějších detektorů spojeno s jistými obtížemi. Velikost tohoto přístroje a jeho unikátní detekční technika jej činí 20x citlivějším než byly předchozí gama detektory v tomto energetickém pásmu.

COMPTEL studuje gama záření z bodových zdrojů, jako jsou neutronové hvězdy a galaxie a difúzní emise pocházející z naší Galaxie. COMPTEL také zaznamenává spektra, která doplňují a rozšiřují spektrální data z OSSE směrem k vyšším energiím.

Detekční technika COMPTELU je zcela nová s detektory umístěnými na vrcholu obou stupňů absorpce. Horní pole detektorů sestává ze sedmi hliníkových modulů, které jsou vyplněny kapalným scintilátorem. Každý modul je sledován osmi fotonásobiči, které zaznamenávají scintilace. Spodní detektor tvoří 14 válcových krystalů NaI montovaných na základně o průměru 1,5 m (5 stop).

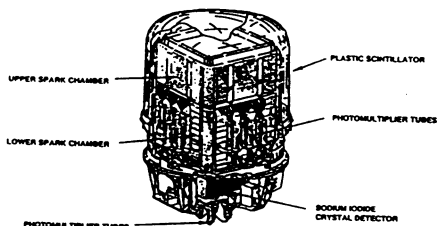
Každý krystalový detektor je sledován sedmi fotonásobiči. Aby byl foton zaznamenán, musí interagovat jak s horním, tak se spodním detektorem. Plastové scintilátory na vnější straně přístroje a mezi detektory identifikují kosmické záření, aby nemohlo způsobovat falešné záznamy gama detektorů.

Činnost COMPTELU je založena na procesu známém jako Comptonův rozptyl, při kterém foton interaguje s elektronem. Výsledkem interakce je, že foton o nízké energii je vyzářen do směru odlišného od směru, ze kterého přišel původní foton a energie, kterou foton "ztratil" je odnesena elektronem. Fotony vstupující do horního kapalinového detektoru se podrobují Comptonovu rozptylu. Výsledkem je scintilační záblesk zaznamenaný fotonásobiči. Rozptýlený foton letí dál a je absorbován ve spodním krystalovém detektoru, kde je jeho scintilace zaznamenána dalšími fotonásobiči. Měřením energie ztracené v horním detektoru a energie absorbovaného fotonu ve spodním detektoru může být určena energie vstupujícího gama paprsku.

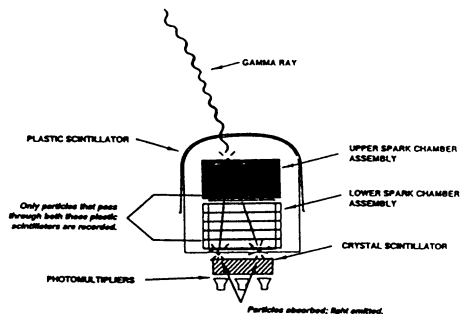
Fotonásobiče také zaznamenávají místa, ve kterých gama záření vstupuje do detektorů. Měřením polohy interakčních fotonů v horním a dolním detektoru lze určit kruh na obloze, odkud pochází gama foton. Po zaznamenání a rozřídění mnoha fotonů lze určit polohu zdroje z průniku polí odpovídajících jednotlivým fotonům. Pro nejvyšší energie je možné určit směr

ke zdroji s přesností lepší než jeden stupeň. Dobré energetické rozlišení, dobře prozkoumaná fyzika Comptonova jevu a velké zorné pole přístroje dovolí rekonstrukci obrazu gama emisí z velké oblasti oblohy s rozlišením několika stupňů.

Energetic Gama Ray Experiment Telescope (EGRET)



EGRET instrument



EGRET gamma-ray detection

Přístroj EGRET je citlivý na záření o nevyšších energiích - přibližně od 20 MeV do 30 GeV. Tyto vysoce energetické gama paprsky jsou obecně spojovány s neenergetičtějšími procesy, jaké se v přírodě objevují.

EGRET je 10x až 20x větší a citlivější než kterýkoli vysokoenergetický gama dalekohled vyslaný do vesmíru v minulosti. Předností velikosti EGRETu je schopnost pozorovat zdroje mnohem slabší než byly ty detekované v minulosti. Také bude možné měřit energetické spektrum vysokoenergetické difúzní gama emise s velmi zdokonalenou přesností a získávat spektra diskretních zdrojů. Jedním z hlavních cílů je výzkum kvasarů ve velkém rozsahu energií, který umožní mnohem přesněji určit jejich celkovou energetickou produkci. Budou hledány i další vysokoenergetické zdroje: gama záření vydávané hmotou v blízkosti černých děr, stelární a galaktické exploze, anihilace hmoty a antihmoty a možná i nové třídy objektů, které doposud unikaly pozornosti, protože byly příliš slabé pro dřívější přístroje.

EGRET slučuje detekční techniku s fyzikou částic o vysokých energiích, kde jsou zaznamenávány gama paprsky pocházející od kolizí elementárních částic. Ke studiu vysokoenergetických gama paprsků používá EGRET 36 digitalizovaných jiskrových komor, 32 prvkový koincidenční systém a 408 kilogramový (900 liber) NaI krystalový detektor, umístěný ve velké kopuli, která jej chrání před náhodnými scintilacemi. 28 horních jiskrových komor je proloženo tantalovými vrstvami.

Když gama paprsek o vysoké energii vstupuje do teleskopu, interaguje s jednou z tantalových vrstev, přičemž se produkuje pár částice-antičástice (elektron a pozitron). Pár prochází dále dolů rychlostí blízkou rychlosti světla. Jestliže alespoň jedna částice z páru prochází koincidenčním teleskopem a zároveň vnější detektory nezaznamenají žádnou nabitou částici, aktivuje se jiskrová komora a zaznamená se dráha částice. Současně je měřena energie přinesená párem do spodního velkého NaI krystalového detektoru. Protože intenzita kosmického záření je řádově tisíckrát větší než intenzita gama záření, byl by přístroj zahlcen, kdyby neměl antikoincidenční štít, který zaznamená přítomnost nabitých částic a signalizuje, že nejde o skutečné gama záření. Nabité částice pohybující se směrem nahoru jsou vylučovány koincidenčním systémem, který rozlišuje mezi částicemi a fotony, které se pohybují nahoru a těmi, které se pohybují dolů.

Směr přicházejícího záření je určován pomocí sledování směru pohybu elektron-pozitronového páru a jeho energie je zjišťována z měření v krystalu NaI a z charakteristiky stop páru v jiskrové komoře. Časy příchodů paprsků jsou měřeny s přesností lepší než desetitisíciná sekundy, což umožňuje například detailní studium pulsarů. Polohy intenzivních vysokoenergetických zdrojů mohou být určeny s přesností $10'$ ($0,17^\circ$) nebo i lepší. EGRET je také schopen pozorovat vysokoenergetické spršky gama záření ze záblesků a solárních vzplanutí.

Arthur Holly Compton (1892-1962)

Astrofyzikové zkoumající vesmír pomocí přístrojů nesených na palubě GRO jsou zavázáni Arthuru Hollymu Comptonovi, americkému fyzikovi, který rozpracováním interakce vysokoenergetického záření a hmoty sehrál klíčovou roli v rozvoji moderní fyziky. Všechny experimenty na observatoři se úzce vztahují k detailnímu poznání interakce gama paprsků s hmotou, kterou poprvé popsal Compton.

Comptonův jev se vztahuje k fotonům s vysokou energií, které jsou rozptylovány na elektronech. Compton a jiní pozorovali, že gama záření a rentgenové záření rozptýlené hmotou se absorbuje mnohem snáze, než se očekávalo, to znamená, že muselo dojít ke ztrátě energie.

Compton dále vypožadoval, že čím větší je úhel rozptylu, tím větší je zjištěná ztráta energie. Tyto objevy ukázaly, že kromě své vlnové podstaty má záření navíc i charakter částic majících energii a hybnost. Tato dualita přírody stála proti existujícím fyzikálním teoriím, které definovaly záření jako jev pouze s vlnovými vlastnostmi.

Compton předložil teorii, že rozptýlený vysokoenergetický foton (rentgenový nebo gama) předává část své energie a hybnosti na elektron. Teorie dále říká, že zvýšení energie a hybnosti elektronu je rovno rozdílu hybnosti a energie mezi primárním a rozptýleným fotonem, čímž se vyřešilo zdánlivé porušení zákona zachování hmoty a energie.

Když později kvantová fyzika ukázala, že záření a hmota mohou vykazovat jak vlnové, tak částicové vlastnosti, stal se Comptonův jev experimentálním potvrzením nové fyziky. V roce 1927 obdržel Compton za svůj objev Nobelovu cenu za fyziku.

Compton byl také jedním z průkopníků astrofyziky vysokých energií. Ve svých obsáhlých studiích kosmického záření ve třicátých letech nezvratně ukázal, že je složeno převážně z nabitých částic a nikoli fotonů o vysokých energiích, jak předpokládali mnozí jiní.

*Přeloženo z publikace NASA - The Gamma - Ray Observatory, NP - 124/Revised, 2/91.
Překlad Jan Veselý, AS v HK.*

Vydavatelem je Astronomická společnost v Hradci Králové.

Zodpovědný redaktor: Luděk Dlabola, technický red.: Martin Cholasta.
Cenzor: Jan Veselý. Vydáno dne 9.12.1995 na 59.setkání členů AS v HK
Adresa AS v HK: M.Cholasta, Štefánikova 306, Hradec Králové 11, 500 11