

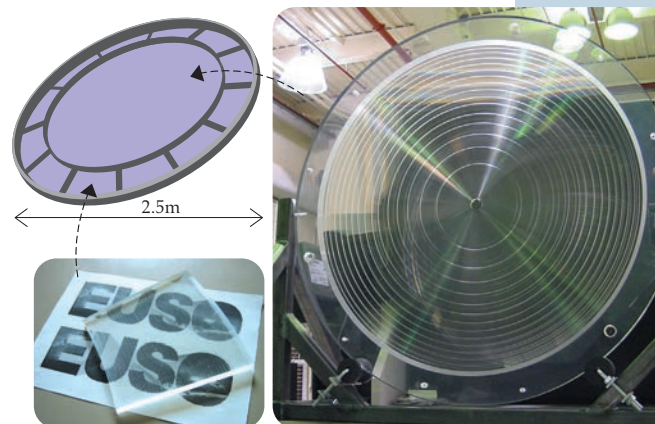
Najnowsze technologie w służbie JEM-EUSO



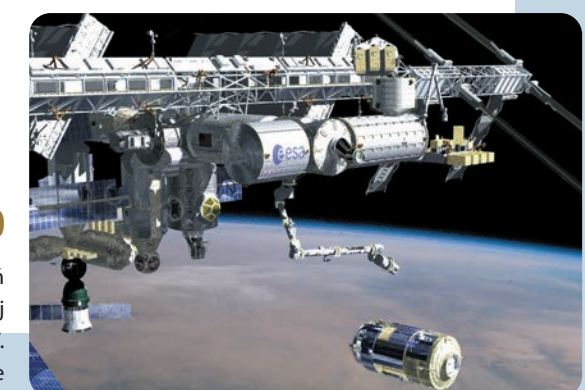
Soczewki Fresnela

Szerokie pole widzenia i niewielka waga

W teleskopie JEM-EUSO użyte zostaną soczewki Fresnela. Okrągłe rowki na ich niemal płaskiej powierzchni pozwalają znacznie zmniejszyć ich ciężar w porównaniu ze standardowymi soczewkami o określonej krzywiznie przy takich samych parametrach optycznych. W przestrzeni kosmicznej idealnie zastępują grube i ciężkie soczewki. JEM-EUSO używał będzie dwóch lekko zakrzywionych dwustronnych soczewek Fresnela zbudowanych z przepuszczającego ultrafiolet plastiku i jednej soczewki Fresnela z mikrorówkami. Konstrukcja taka pozwala połączyć najlepszą efektywność z szerokim polem widzenia. Soczewki centralne będą miały średnicę 2.5 metra i będą składać się z półtorametrowej części centralnej i pierścienia soczewek zewnętrznych.



▲ Uzupełnienie soczewki centralnej soczewkami pierścienia zewnętrznego pozwoliło skonstruować soczewkę o rozmiarach większych, niż to możliwe do wytworzenia w pojedynczej maszynie.



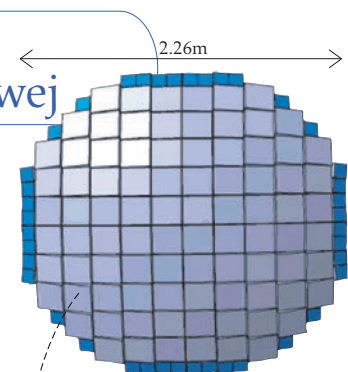
▲ Statek transportowy HTV zbliża się do ISS.

Budowa

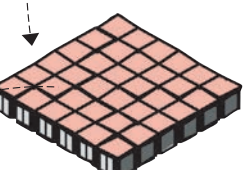
Detektory na powierzchni ogniskowej

6000 fotonowielaczy

Zakrzywiona powierzchnia ogniskowa ma średnicę 2.26 m. Światło dochodzące z różnych miejsc w atmosferze rejestrowane jest przez ok. 6000 wieloanodowych fotonowielaczy o powierzchni jednego cała kwadratowego każdy. Efektywna powierzchnia światłoczuła typowych fotonowielaczy stanowiła dotąd około 45% całkowitej powierzchni. Dzięki współpracy JEM-EUSO i Hamamatsu Photonics udało się zwiększyć powierzchnię czynną fotonowielaczy do 85%.



▲ Powierzchnia ogniskowa
Iskłada się z 164 modułów i w sumie zawiera 5904 fotonowielaczy (ponad 200 tys. pikseli)



▲ Moduł światłoczuły
Moduły pokrywają powierzchnię ogniskową o średnicy 2.26 m. Każdy z nich ma 6x6 = 36 fotonowielaczy (PMT) - elementów światłoczułych.



▲ Fotonowielacze
Aktywna powierzchnia PMT stanowi 85% (z kwadratu o boku 26.2 mm) i dzieli się na 6x6 = 36 pikseli.

Start

Moduł Transportowy (HTV) Japońskiej Agencji Kosmicznej JAXA zabierze JEM-EUSO

Specjalna raketa H-II B Japońskiej Agencji Badań Kosmicznych (JAXA) wyniesie ku Międzynarodowej Stacji Kosmicznej japoński statek transportowy HTV. Dostarczy on na ISS JEM-EUSO, który zostanie zainstalowany w japońskim module „Kibo”.

Porównanie JEM-EUSO z największymi eksperymentami naziemnymi.

	AGASA	HiRes	Auger	Telescope Array	JEM-EUSO
organizacja	Uniwersytet Tokijski	Uniwersytet Utah	współpraca międzynarodowa	Uniwersytety Tokijski i Utah	współpraca międzynarodowa
lokalizacja	Yamanashi, Japonia	Utah, USA	Argentyna	Utah, USA	Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS)
metoda detekcji	detektory cząstek na pow. Ziemi	naziemny teleskop fluorescencyjny	detektory cząstek i teleskop fluorescencyjny na pow. Ziemi	detektory cząstek i teleskop fluorescencyjny na pow. Ziemi	teleskop fluorescencyjny na orbicie Ziemi
lata pracy	1990-2004	1997-2006	2005-	2007-	planowany start 2013
apertura (km ² .sr)	150	500	7000	760	125000
częstość EHE (na rok)	1 (zakończony)	obserwowano <1 (zakończony)	50 (spodziewanych) 3 (obserwowano)	10 (spodziewanych)	350-1700 (spodziewanych)

Parametry misji JEM-EUSO

wysokość	około 400 km	liczba pikseli na powierzchni ogniskowej	około 0.2 miliona
szerokość i długość geograficzna	51°N – 51°S wszystkie długości	rozdzielczość na powierzchni	około 0.8 km
pole widzenia	60°	efektywny czas pracy	12-25%
apertura (rozmiar na powierzchni Ziemi)	0.2 miliona km ²	czas trwania misji	3 (+2) lata
średnica teleskopu	ok. 2.5 m	całkowita masa	~1.9 T
system optyczny	dwie dwustronne soczewki Fresnela i jedna soczewka wysokiej precyzji	zużycie mocy	< 1kW

Partnerzy międzynarodowi:

	Japonia	RIKEN Konan Univ. Fukui Tech. Univ. Aoyama Gakuin Univ. Saitama Univ. NIRS Univ. Tokyo Tohoku Univ. ICRR, Univ. Tokyo KEK Chiba Univ. NAOJ ISAS/JAXA Kanazawa Univ. Nagoya Univ. STE Lab., Nagoya Univ. Yukawa Inst., Kyoto Univ. Kyoto Univ. Kobe Univ. Kinki Univ. Hiroshima Univ. Hokkaido Univ. Tokyo Inst. Tech.
	USA	NASA/MSFC UAH LBL, UCB UCLA Vanderbilt Univ. Univ. Arizona.
	Francja	APC-Paris 7 LAL, IN2P3-CNRS
	Niemcy	MPI Munich Univ. Tuebingen MPI Bonn Univ. Erlangen LMU&MPQ
	Włochy	Univ. Florence Univ. Naples Univ. Palermo Univ. Rome "Tor Vergata" Univ. Turin INOA/CNR IASF-PA/INAF IFSI-TO/INAF INFN
	Meksyk	ICN-UNAM BUAP UMSNH
	Polska	IPJ CBK PAN Akademia Podlaska Uniwersytet Jana Kochanowskiego Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego
	Republika Korei	Ehwa W. Univ. Yonsei Univ.
	Rosja	SINP MSU Dubna JINR
	Słowacja	Inst. Experimental Physics, KOSICE
	Hiszpania	Univ. Alcalá
	Szwajcaria	Neuchatel, CSEM IACETH

Współpraca JEM-EUSO

JAPONIA
Computational Astrophysics Laboratory, RIKEN
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198 Japan
tel : +81-48-467-9417 fax : +81-48-467-4078
E-mail : jem-euso-staff@riken.jp URL : http://jemeuso.riken.jp/

POLSKA
Zakład Fizyki Promieniowania Kosmicznego
Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Soltana
PL-90-950 Łódź 1, skr. 447, Poland
tel./fax : +48 426786431 E-mail : jem-euso@zpk.u.lodz.pl



Nowa Astronomia - cała ziemską atmosferą gigantycznym Obserwatorium Kosmiczne Obserwatorium Ekstremalnego Wszechświata na pokładzie Japońskiego Modułu Eksperymentalnego

Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module

JEM-EUSO

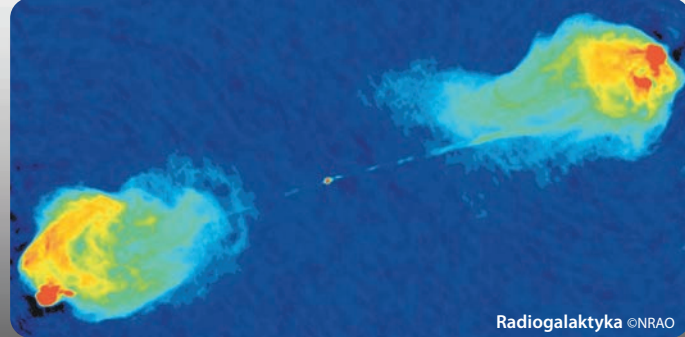
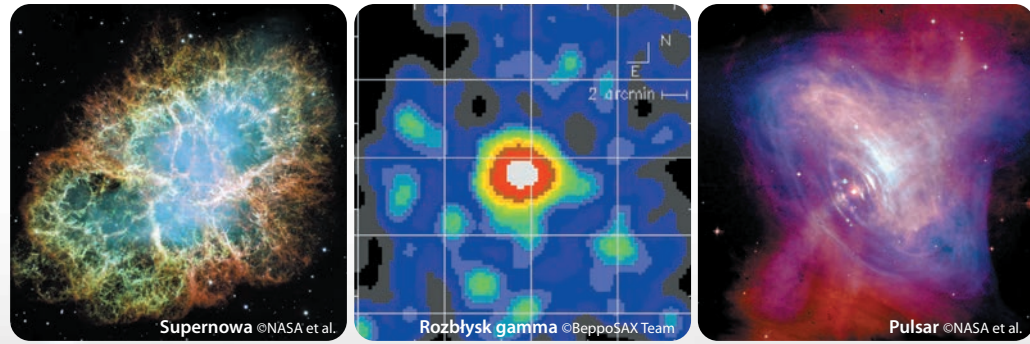
Geneza

Najwyższe zaobserwowane energie - ponad 10^{20} eV

Tysiące naładowanych cząstek bombardują każdy metr kwadratowy powierzchni Ziemi w każdej sekundzie. To jest właśnie promieniowanie kosmiczne. Strumień tych cząstek bardzo szybko maleje ze wzrostem ich energii. Docierający do Ziemi strumień cząstek o energiach powyżej 4×10^{19} eV powinien być radykalnie zmniejszony, ponieważ takie cząstki tracą energię w zderzeniach z fotonami mikrofalowego promieniowania tła wypełniającego Wszechświat.

Od pierwszego zaobserwowanego przez Linsleya w 1962 roku przypadku cząstki o energii 10^{20} eV* aparatura Uniwersytetu w Tokio Akeno-Giant-Air-Shower-Array (AGASA) i eksperyment Uniwersytetu Utah Fly's Eye/HiRes zarejestrowały kilkanaście innych podobnych przypadków. Pochodzenie cząstek o tak wielkich energiach pozostaje ciągle nieznane i jest fascynującym tematem badań naukowych.

* 10^{20} eV jest równoważne 16 dzulom, energii która może ogrzać 1 cm³ wody o ok. 4°C.



▲ Inne nieznane obiekty astrofizyczne także mogą być źródłami cząstek o najwyższych energiach.

Zagadka

Czy odkryjemy ograniczenia dla teorii względności? Czy odkryjemy nieznane obiekty (i procesy) astrofizyczne?

Radykalne ograniczenie strumienia cząstek o najwyższych energiach zostało teoretycznie przewidziane przez Greisena, Zatsepina i Kuzmina (tzw. obcięcie GZK) i wynika z faktu, że Wszechświat wypełnia mikrofalowe promieniowanie tła (CMB) – najbardziej widoczna pozostałość Wielkiego Wybuchu. Cząstki (protony) promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach zderzają się z fotonami CMB i tracą energię na drodze rzędu 150 mln lat świetlnych (50 Megaparseków), aż ich energia zmniejszy się do 4×10^{19} eV (o ile Szczególna Teoria Względności Einsteina obowiązuje dla wszystkich energii, zawsze i wszędzie we Wszechświecie).

Fakt zaobserwowania cząstek o energiach znacznie przewyższających energię obcięcia GZK jest wyzwaniem dla naszego pojmowania podstaw fizyki i astrofizyki. Być może niedaleko nas, w odległościach mniejszych niż 50 Mps, znajdują się źródła promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach. Może są to dobrze znane radiogalaktyki (Cen-A i Virgo M-87), albo obiekty dziś jeszcze nieodkryte. Jeśli żaden z przypadków nie pochodzi z kierunku wskazującego na znany obiekt, wówczas rodzi się mogą wątpliwości co do słuszności szczególnej teorii względności lub innych fundamentalnych zasad fizyki. Dotychczasowe obserwacje promieniowania najwyższych energii nie dały jednoznacznej odpowiedzi. Zagadka pochodzenia tych cząstek oczekuje na rozstrzygające obserwacje.

Kosmos

Obserwując Ziemię z Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS)

Eksperyment JEM-EUSO został tak pomyślany, aby definitywnie rozstrzygnąć problem istnienia, bądź nie, obcięcia GZK i zidentyfikować na niebie źródła promieniowania kosmicznego najwyższych energii. W ciągu trzech lat obserwacji JEM-EUSO spodziewane jest zarejestrowanie ok. 1000 cząstek o energiach powyżej 7×10^{19} eV. Ich energie i kierunki będą mierzone wystarczająco dokładnie, aby określić ich pochodzenie.

Eksperyment JEM-EUSO zostanie dołączony do Japońskiego Modułu Eksperymentalnego (JEM) na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS).

Działa on jak astronomiczny teleskop. Jednak nie jest skierowany w przestrzeń kosmiczną, jak zwykle obserwatorium astronomiczne na Ziemi, lecz w dół. JEM-EUSO obserwuje Wszechświat patrząc w kierunku Ziemi. Dla JEM-EUSO atmosfera Ziemi staje się największym detektorem użytym kiedykolwiek w poszukiwaniach odpowiedzi na pytanie o tajemnicę pochodzenia cząstek przychodzących z kosmosu. JEM-EUSO jest nowym typem obserwatorium astronomicznego: teleskopem, który z Kosmosu patrzy na Ziemię.

(Kosmiczne Obserwatorium Ekstremalnego Wszechświata) dołączone do Japońskiego Modułu Eksperymentalnego

JEM-EUSO

Japoński Moduł Eksperymentalny „Kibo” (JEM)

Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS)

Obserwacja

Promieniowanie ultrafioletowe wywołane przez wielkie pęki atmosferyczne

Cząstki promieniowania kosmicznego wchodząc w atmosferę ziemską zderzają się z jądrami atomów atmosfery i w zderzeniach tych produkują liczne elektrony, mezony i fotony gamma. Te wtórne cząstki przelatując przez atmosferę produkują kolejne generacje cząstek. Cała ta kaskada nazywa się **wielkim pękiem atmosferycznym**. Cząstka promieniowania kosmicznego o energii 10^{20} eV generuje 100 miliardów cząstek docierających do powierzchni Ziemi w obszarze o średnicy 3 km.

Elektrony z wielkiego pędu na swojej drodze napotyka i wzbudza cząsteczki atmosferycznego azotu N₂, które natychmiast emitują fotony światła fluorescencyjnego głównie w ultrafioletowej części widma. JEM-EUSO wychwytuje to światło i co kilka mikrosekund (milionowych części sekundy) rejestruje obraz poruszającego się pędu, jak ultraszybka cyfrowa kamera video. Narastanie i spadek natężenia sygnału świetlnego wzdłuż toru pędu pozwala określić energię i kierunek przyjsia cząstki promieniowania kosmicznego.



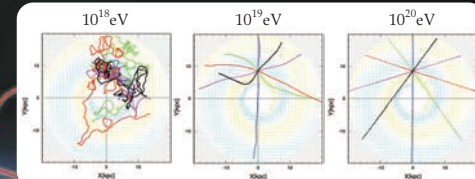
Wyzwania

Rezultaty pracy kosmicznego teleskopu JEM-EUSO

Astronomia cząstek najwyższych energii

Tory cząstek naładowanych o niskich energiach są zakrzywiane przez pola magnetyczne Galaktyki i w przestrzeni międzygalaktycznej. Kierunkowa informacja o pochodzeniu tych cząstek jest zatem gubiona. Jednakże tory cząstek o najwyższych energiach są zginane bardzo słabo i zachowują informację o kierunku pochodzenia. W ten sposób cząstki o najwyższych energiach zaliczają się do kosmicznych nośników informacji astronomicznej obok światła widzialnego, promieniowania X i światła podczerwonego.

Różne obiekty były proponowane jako potencjalne źródła cząstek promieniowania kosmicznego wysokich energii: do kandydatów zaliczają się supernowe, błyski gamma, aktywne jądra galaktyk, pulsary, a także zderzające się galaktyki i supermasywne czarne dziury w jądrach radiogalaktyk. Większość jednak z tych obiektów nie jest w stanie przyspieszyć cząstki powyżej 10^{20} eV przy pomocy żadnego znanego mechanizmu. Badacze są zgodni co do tego, że musi istnieć jakiś inny, nieznany mechanizm przyspieszania, a może nawet i innego typu źródło najwyższych energii.



◀ Tory cząstek o niskich energiach są zakrzywiane i skręcane przez pola magnetyczne, ale cząstki powyżej 10^{20} eV poruszają się po trajektoriach prawie prostoliniowych, niemal niezmiennych przez pola magnetyczne. Tym samym zachowują one informację o kierunku ich pochodzenia.

Badania neutrin o najwyższych energiach

Neutrino bardzo słabo oddziałują z materią i nie dotyczą ich obcięcie GZK. Jak dotąd nie zarejestrowano jednak przypadków wysokoenergetycznych neutrin ze względu na bardzo niską wydajność detektorów o zbyt małej masie. Neutrino o skrajnie wysokich energiach mogą zostać zaobserwowane przez JEM-EUSO, gdyż ziemska atmosfera stanowi tarczę o wystarczająco dużej masie, aby zarejestrować kilka przypadków rocznie.

Granice energii – poza LHC

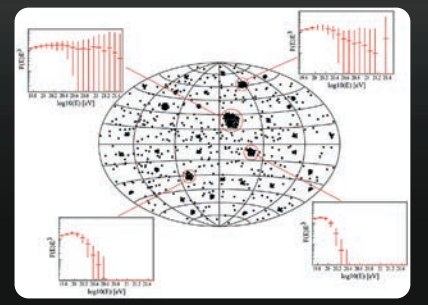
Największy zbudowany przez człowieka akcelerator „Wielki Zderzacz Hadronów” (LHC) ruszył w 2008 r. Będzie przyspieszał i zderzał cząstki, aby badać podstawy fizyki. Promieniowanie kosmiczne o najwyższych energiach, jakie dotąd zostały zaobserwowane, ma energie zderzeń ponad trzy rzędy wielkości większe niż energie osiągnane w LHC. Dzięki obserwacjom cząstek najwyższych energii przez JEM-EUSO zakres energii dostępnych dla badań podstawowych praw fizyki może być znacznie rozszerzony.

Postęp

Efektywność obserwacji ponad 1000 razy większa niż dla AGASA

Aby obserwować bardzo rzadkie przypadki o najwyższych energiach, potrzebna jest wielka powierzchnia obserwacji. Instytut Badań Promieniowania Kosmicznego Uniwersytetu w Tokio zbudował właśnie w Utah w USA eksperyment „Telescope Array” o powierzchni 760 km² – następcę eksperymentu AGASA. Największa aktualnie działająca aparatura - Pierre Auger Observatory (PAO) o powierzchni 3500 km² została uruchomiona w 2005 roku w Argentynie. (Pierre Auger to nazwisko francuskiego uczonego, który odkrył Wielkie Pęki Atmosferyczne 70 lat temu). Obserwatoria zbudowane na powierzchni Ziemi mogą obserwować niebo północne lub południowe, żadne z nich nie widzi całego nieba.

Naziemne detektory tych wielkich obserwatoriów osiągnęły już niemal maksymalne rozmiary, jakie można sobie rozsądnie wyobrazić. Orbitujące obserwatorium, JEM-EUSO, skokowo zwiększy pole obserwacji: jego obszar jest wielkości 100000 – 500000 km² (ponad 1000 razy więcej niż AGASA) dzięki prowadzeniu obserwacji z wysokości 400 km w szerokim polu widzenia 60°. ISS przelatuje zarówno nad północną, jak i południową półkulą. Równomierne obserwacje całego nieba przy pomocy jednego urządzenia pozwalają na poszukiwanie korelacji ze wszystkimi znanymi obiektami astronomicznymi.



▲ Mapa nieba kierunków pochodzenia cząstek najwyższych energii, jakich możemy się spodziewać (1000 przypadków JEM-EUSO). Przypadki grupują się wokół kierunków wskazujących położenia silnych źródeł promieniowania kosmicznego najwyższych energii.

Globalne obserwacje zjawisk świetlnych w atmosferze

JEM-EUSO może rejestrować nocą krótkotrwałe zjawiska rozświetlające atmosferę, jak np. błyskawice, meteory i poświaty. Błyskawice powstają pomiędzy chmurami a Ziemią, lub pomiędzy chmurami. Niezwykłymi wielkoskalowymi zjawiskami świetlnymi są powstające wysoko w stratosferze wyładowania zwane niebieskimi dżetami („blue jets”), krasnalami („sprites”), elfami („elves”). Tworzą one strumienie rozciągające się od chmur burzowych do otwartej przestrzeni kosmicznej. Częstość oraz rozkład geograficzny ich występowania będą monitorowane, co pomoże w lepszym zrozumieniu przyczyn pojawiania się tych tajemniczych zjawisk. Meteory to niewielkie fragmenty materii skalnej docierające z kosmosu do naszej atmosfery, w której spalając się pozostawiają świecące ślady. Obserwacja ich rozmiarów a także widma fluorescencyjnego pozwoli nam, jak się spodziewamy, pogłębić naszą wiedzę o ich macierzystych asteroidach oraz innych źródłach w Układzie Słonecznym.



▲ Ciekawy przykład zjawiska wyładowania typu krasnal (sprite), nazywanego ze względu na kształt „marchewkowym”

JEM-EUSO na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej bada pochodzenie cząstek o największych energiach we Wszechświecie.

▲ Ziemska atmosfera sfotografowana z pokładu Promu Kosmicznego ©NASA