

Pomiary promieniowania kosmicznego najwyższych energii przy pomocy detektorów EUSO

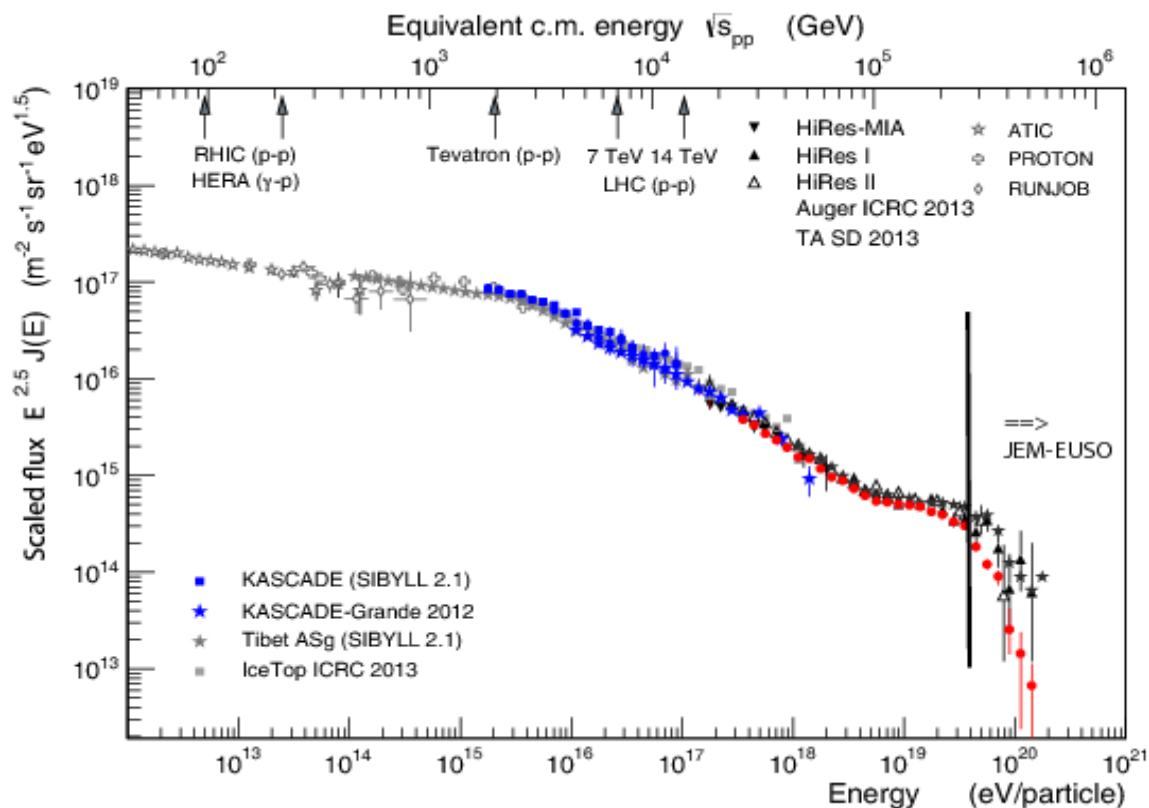
Zbigniew Plebaniak

Zakład Astrofizyki - BP₄
Pracownia Fizyki Promieniowania Kosmicznego
w Łodzi

Pracownia Fizyki Promieniowania Kosmicznego w Łodzi

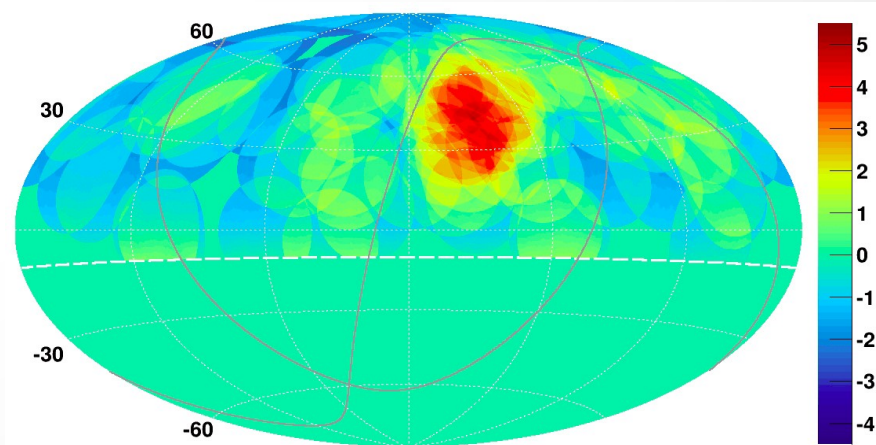
- **Fizyka promieniowania kosmicznego**
 - Prace eksperymentalne, głównie eksperymenty EUSO
 - Modelowanie/symulacje rozwoju Wielkich Pęków Atmosferycznych
- **Badanie rozbłysków gamma**
 - Eksperyment satelitarny POLAR
- **Pomiary małych strumieni neutronów**
 - Trzyletni projekt INTERREG BSUIN, 200 000 €

Problemy fizyki promieniowania kosmicznego



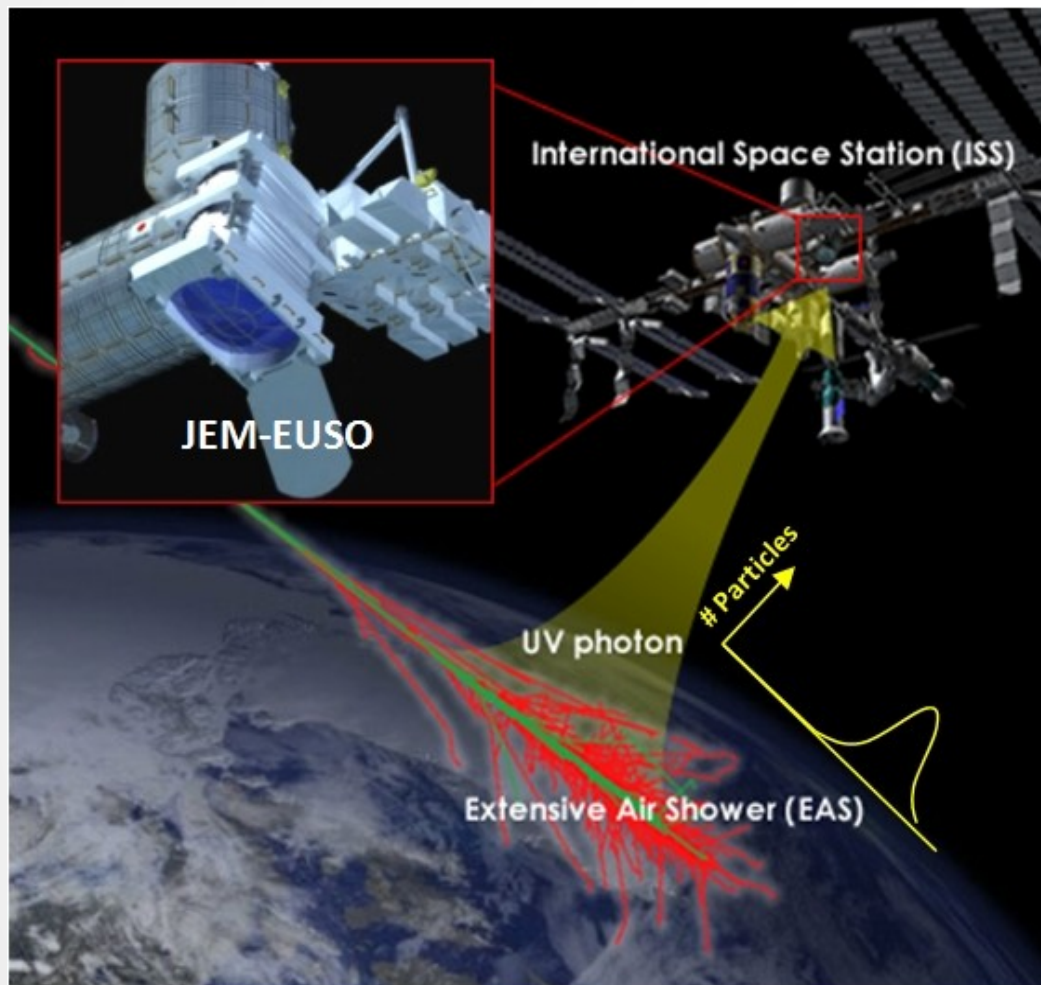
- ♦ jakie są najwyższe energie ?
- ♦ efekt GZK
- ♦ skład masowy
- ♦ fizyczne/astrofizyczne mechanizmy przyśpieszania
- ♦ czy istnieją astrofizyczne źródła ?

potrzebna większa statystyka i dokładność pomiaru



Współpraca JEM-EUSO

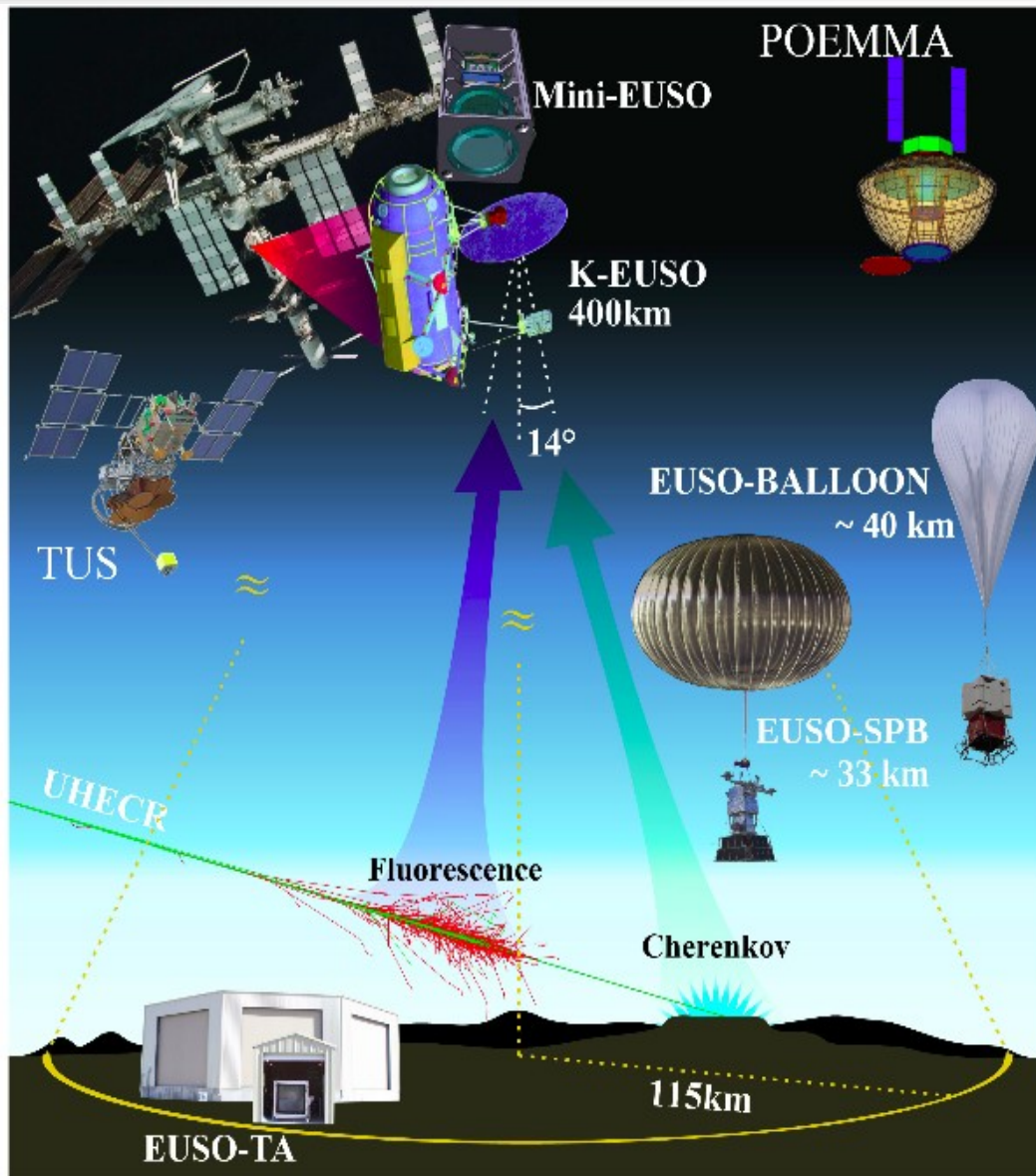
Japanese Experimental Module – Extreme Universe Space Observatory



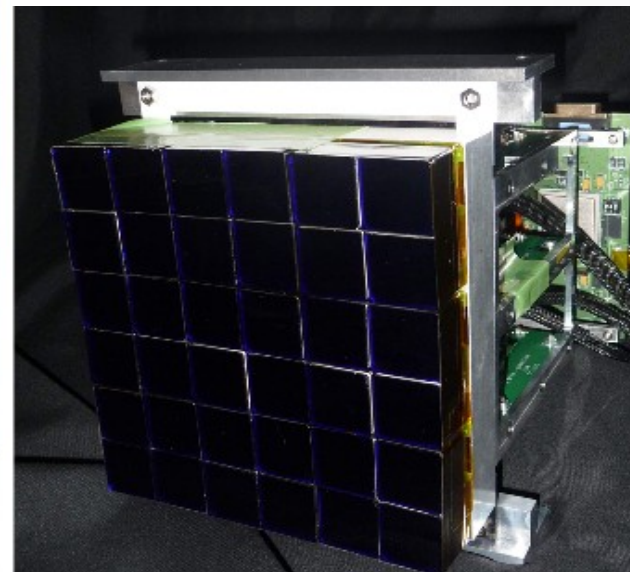
- Polska od **2008** roku
- nowa metoda pomiaru promieniowania kosmicznego „z góry”
- aktywnie uczestniczymy w budowie aparatury pomiarowej – **zasilacze wysokiego napięcia**
- PI grupy polskiej jest **dr. Jacek Szabelski**

16 krajów, 83 instytucje, >300 naukowców
W ciągu 5 lat trawania misji pomiar ponad 1000 pęków
o energiach $> 5 \times 10^{19}$ eV

Program EUSO



- 2013 – EUSO-Balloon
- od 2014 – EUSO-TA
- 2016 – TUS
- 2017 – EUSO-SPB
- 2018 – Mini-EUSO
- 2020 – K-EUSO
- 2020 – EUSO-SPB2
- >2025 POEMMA



**Moduł
Detektora**

**2304
piksele**

**36
fotopowielaczy**

Zasilacz wysokiego napięcia do detektorów EUSO - komora próżniowo-termiczna



Wykonaliśmy w NCBJ w Łodzi układy wysokiego napięcia dla wszystkich eksperymentów rodziny EUSO.

Dotychczas korzystaliśmy z wyników testów termicznych i próżniowych robionych w APC w Paryżu.

Uruchamiamy zbudowaną w BP4 w Łodzi komorę próżniowo-termiczną do testów elektroniki kosmicznej.
minimalna próżnia poniżej 4 μ bara ($3 \cdot 10^{-3}$ mm Hg)
minimalna temperatura – poniżej -30 °C

Wpływ warunków kosmicznych na elektronikę:

1) próżnia:

brak chłodzenia (możliwość przegrzania elementów),
selekcja elementów o niskiej mocy,

2) zmienna temperatura (-50 °C – $+120$ °C):

problem stabilności wynikowych parametrów,
graniczne warunki w niskich temperaturach
(szczególnie dla układów z ferrytami),
selekcja elementów stabilnych.

Dodatkowo w warunkach balonowych (stratosfera):
ciśnienie ok. 3-5 mbar (~ 35 km) powoduje przewodnictwo elektryczne dla ΔV powyżej ok. 250 V (efekt Paschena)

Układ zasilania wieloanodowych fotopowielaczy (EUSO)

Warunki:

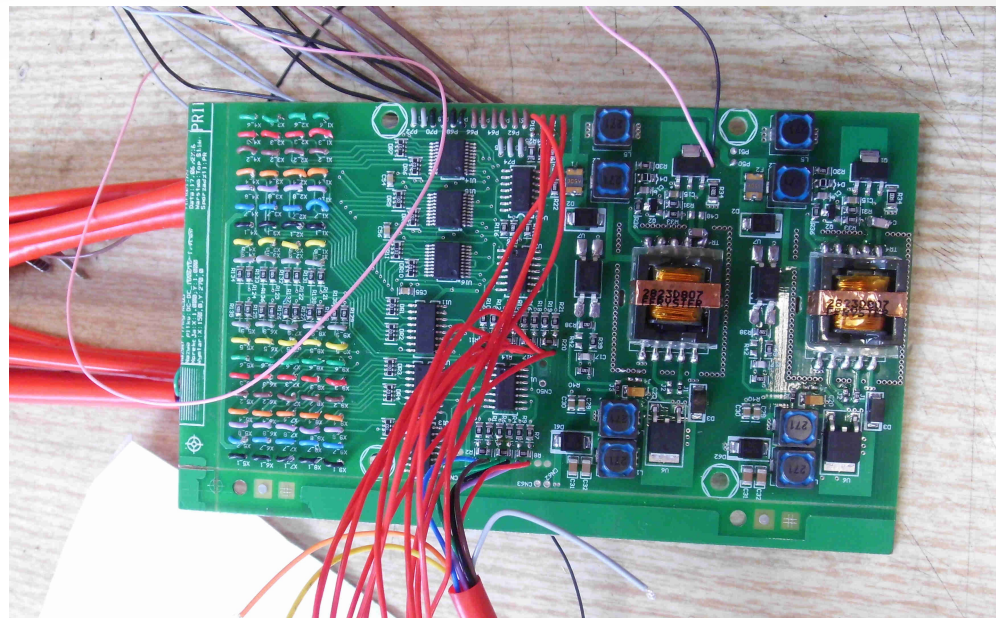
- jednostka detekcyjna (PDM) ma 36 fotopowielaczy 64 anodowych (2304 piksele),
- w każdym pikselu liczymy fotony (foto-elektrony) w przedziałach co 2.5 μs (GTU),
- system pozwala na zliczenia w zakresie 0 – ~ 100 w każdym pikselu,
- tło jest na poziomie 1-2 fotoelektronów/piksel/2.5 μs (8-16 μA / PTM),
- sygnały WPA (Wielkich Pęków Atmosferycznych) na poziomie do 8 p-e/piksel/GTU przez okres ok. 30 μs ,
- inne sygnały do miliona p-e/piksel/GTU przez okres ok. ~ 100 ms (błyskawice, TLE, meteory).

Wymagania:

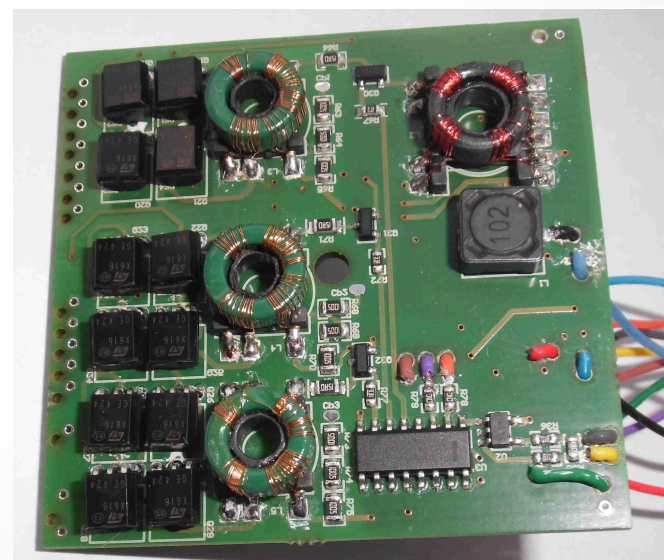
- ✓ pobierana moc < 1 W/PDM (aktualnie ok. 66 W dla 100 PDMów w dużym teleskopie)
- ✓ dynamika pomiaru 0 – 1 mln p-e (dzięki szybkim przełącznikom HV),
- ✓ praca ciągła,
- ✓ redundancja (9 generatorów HV, 2 układy DC-DC).
- ✓ odporność na wstrząsy (wibracje i uderzenia – *pyroshocks*),
- ✓ mała masa (generator HV dla 4 PMT waży 18.6 g)

SPB-EUSO HVPS wykonany w NCBJ w Łodzi

**DC-DC (13.5 cm x 7.5 cm)
komunikacja
separacja galwaniczna**



**9 x C-W (5cm x 5cm)
generatorów HV
typu Cockcroft-Walton
+ szybkie przełączniki HV**



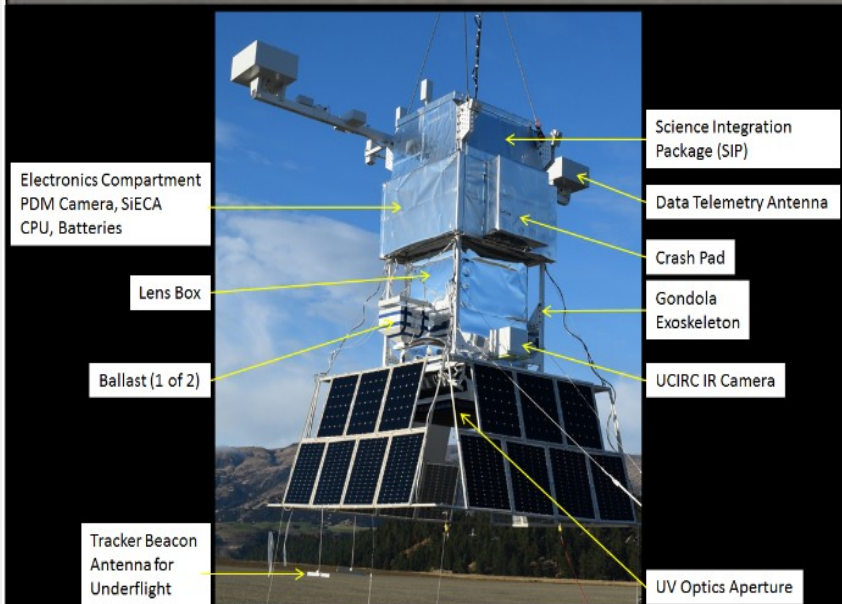
**Wykonaliśmy modyfikacje kodu
sterującego układem HVPS
krótko przed startem SPB-EUSO
(formalnie zadanie innej grupy)**

EUSO w roku 2017

- **EUSO-SPB** – lot detektora na balonie stratosferycznym dookoła Antarktydy
- **Mini-EUSO** – końcowe testy i prace nad oprogramowaniem sterującym przed wysłaniem na Międzynarodową Stację Kosmiczną
- **EUSO-TA** – analiza danych i przygotowanie do automatyzacji pomiarów
- **EUSO-SPB2** – decyzja o realizacji drugiego lotu przy użyciu balonu stratosferycznego, symulacje poziomych WPA
- **K-EUSO** umowa pomiędzy Roskosmos a RKK Energia o budowę eksperymentu

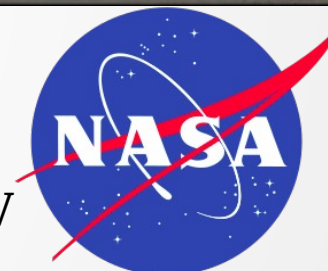
EUSO-SPB – Kwiecień-Maj 2017

**Pierwszy długi lot detektora EUSO na przy użyciu balonu stratosferycznego
Start: 24 Kwietnia 2017 z miejscowości Wanaka w Nowej Zelandii**



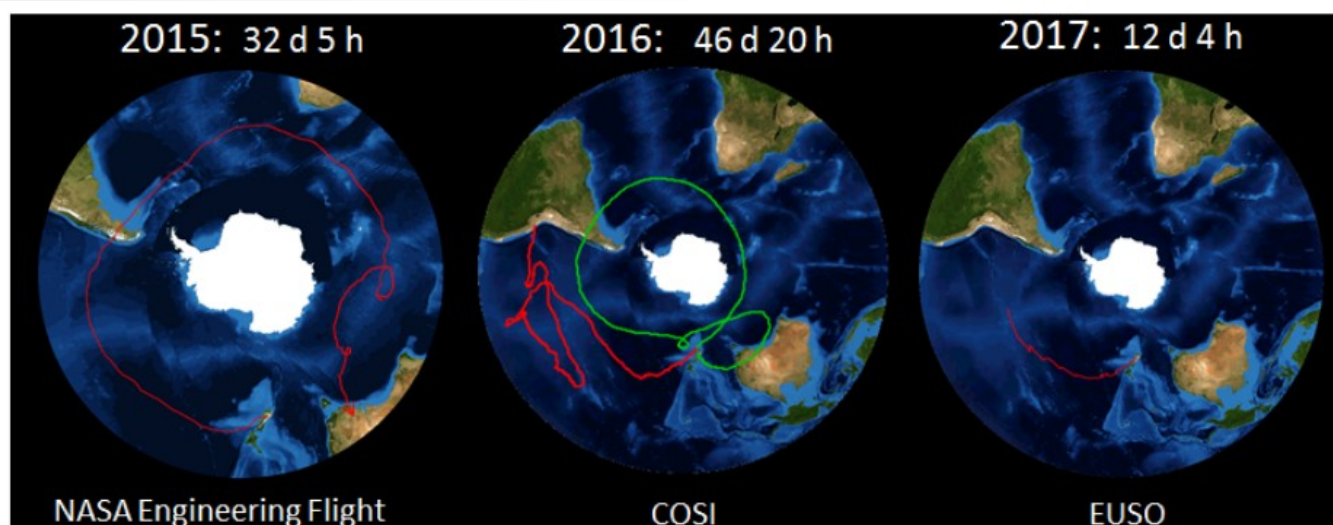
Cele misji:

- pomiary promieniowania kosmicznego o energiach $> 10^{19}$ eV
- pomiary tła UV
- badanie zjawisk atmosferycznych takich jak wyładowania, TLE, meteoryty
- test działania aparatury w warunkach zbliżonych do kosmicznych



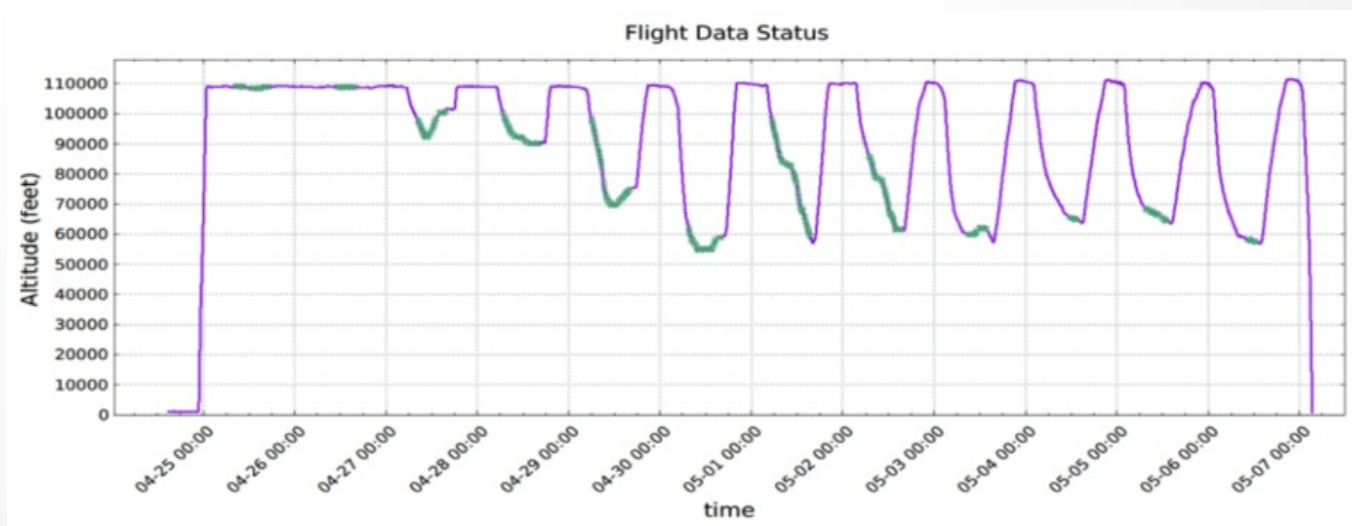
EUSO-SPB – Kwiecień-Maj 2017

Lądowanie w Oceanie Spokojnym ok. 300 km na południowy wschód od Wysp Wielkanocnych z powodu rozszczelnienia balonu



Podczas 12 dni lotu cała aparatura naukowa włączając w to zasilacze przygotowane w łódzkiej pracowni NCBJ działała bez zarzutu

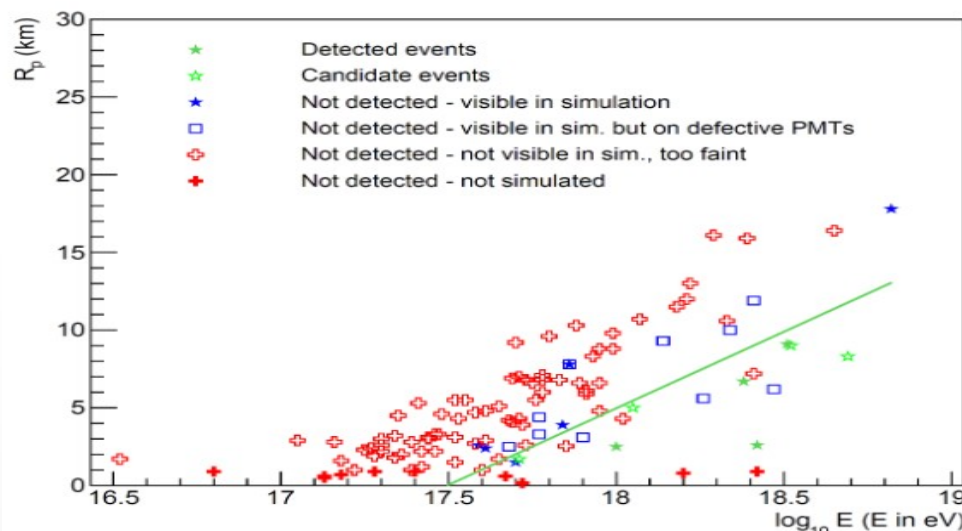
NASA zdecydowała o realizacji kolejnego lotu z udziałem detektora EUSO - EUSO-SPB2



EUSO-TA – poligon doświadczalny dla detektorów EUSO

- ♦ testowe pomiary i kalibracja detektorów EUSO
- ♦ pomiary promieniowania kosmicznego w koincydencji z eksperymentem Telescope Array
- ♦ obecnie dokonujemy automatyzacji pomiarów w celu zwiększenia czasu obserwacji

Black Rock Mesa at Telescope Array Site



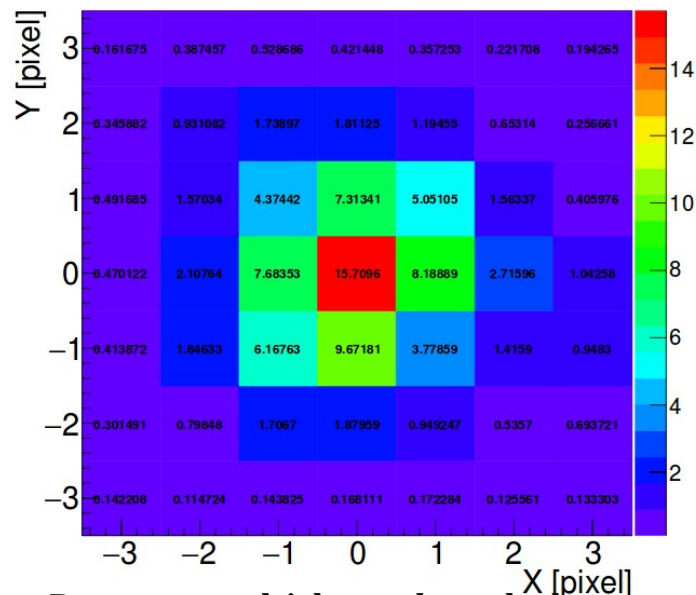
Rysunek: F. Bisconti PoS ICRC2017 (463)

EUSO-TA – kalibracja detektorów

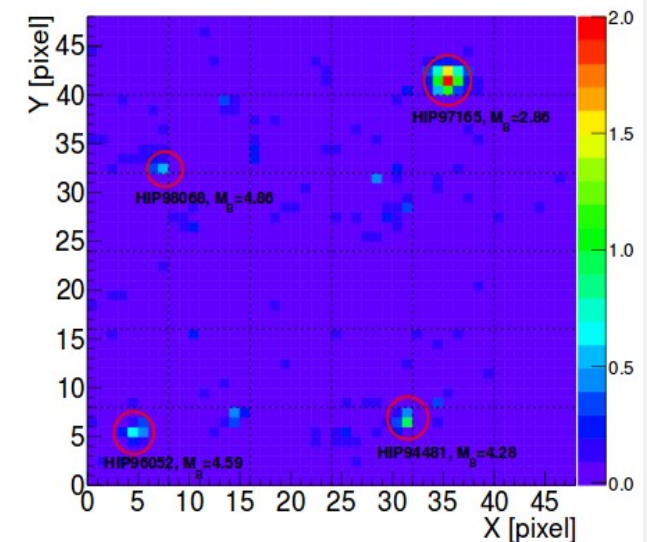
Trzyletni grant NCN z konkursu PRELUDIUM10 pt.: „Eksperyment EUSO-TA – kalibracja detektora i pomiary promieniowania kosmicznego najwyższych energii w koincydencji z eksperymentem Telescope Array”

Metoda odszumiania sygnału oparta na analizie tła „w locie” w trakcie pomiaru.

Wyniki prezentowane podczas konferencji ICRC2017 w Busan w Korei Południowej pod tytułem „Point Spread Function of EUSO-TA detector” PoS (ICRC2017) 460



Procentowy udział sygnału pochodzącego z przykładowej gwiazdy w poszczególnych pikselach



Uzyskane są częścią pracy „EUSO-TA: first results from an on-ground EUSO telescope” wysłanej do Astroparticle Physics

Rozwinięcie tej analizy ma pozwolić w roku 2018 na wykonywanie **absolutnej kalibracji** detektora EUSO w oparciu o **sygnały pochodzące od gwiazd**

EUSO-TA i EUSO-SPB2 – budowa zespołu do analizy danych

Dotychczasowe pomiary EUSO-TA

- Maj 2015
- Wrzesień 2015
- Październik 2015
- Listopad 2015
- Wrzesień/Październik 2016

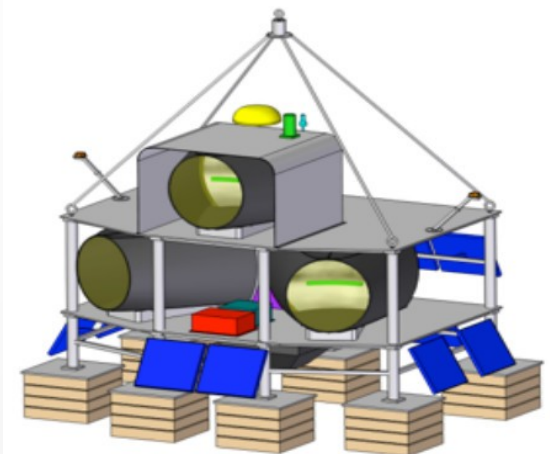
Eksperyment EUSO-SPB

- Kwiecień/Maj 2017

Na początku roku 2017 rozpocząłem prace z czwórką studentów kierunku Fizyka Techniczna Politechniki Łódzkiej w celu zbudowania zespołu do analizy danych z eksperymentów EUSO. Dotychczasowymi wymiernymi efektami tej współpracy jest praca inżynierska **p. Karoliny Królik pt.: „Symulacje częstości detekcji promieniowania Czereknowa w planowanych eksperymentach EUSO-SPB2 i POEMMA”** która zostanie ukończona w lutym br.

Dotychczasowe wyniki pracy były prezentowane:

- na **Seminarium Zakładu Astrofizyki** w październiku 2017 r.
- na spotkaniu **Współpracy JEM-EUSO w Turynie** w październiku 2017 r.
- w formie wideokonferencji na spotkaniu **Współpracy JEM-EUSO w Tokyo** w grudniu 2017 r.



Podsumowanie

Łódzka Pracownia Fizyki Promieniowania Kosmicznego Zakładu Astrofizyki NCBJ uczestniczy we Współpracy JEM-EUSO wykonując:

- **specjalistyczne układy zasilania wysokim napięciem do wszystkich dotychczasowych i planowanych eksperymentów EUSO**
- **analizę zebranych danych pomiarowych**
- **pomiary promieniowania kosmicznego najwyższych energii (głównie EUSO-TA)**
- **symulacje komputerowe rozwoju Wielkich Pęków Atmosferycznych (programy CORSIKA, CONEX) z naciskiem na rozwój modeli oddziaływań najwyższych energii**
(grant NCN z konkursu ETIUDA4 pt.: „Badanie wpływu parametrów oddziaływań wielkich energii na rozwój WPA i możliwości pomiarowe eksperymentu JEM-EUSO” realizowany we współpracy z prof. J.N.Capdeviellem z instytutu APC w Paryżu)