

**Nr projektu:** 2022/45/B/ST9/02163

**Tytuł:** Rozwój nowych metod analizy danych z Obserwatorium Pierre

Auger.

### **Opis projektu**

Proponowany projekt ma na celu udoskonalenie metod stosowanych w eksperymentalnym badaniu promieni kosmicznych przy energiach powyżej  $10^{18}$  eV. Cząstki o tak wysokich energiach - o kilka rzędów wielkości wyższych niż energie uzyskiwane w akceleratorach cząstek zbudowanych przez człowieka - docierają na Ziemię z głębi Kosmosu. Ze współcześnie dostępną technologią, akcelerator typu Wielkiego Zderzacza Hadronów musiałby być wielkości orbity Merkurego, aby osiągnąć te energie. Nie wiemy, gdzie we Wszechświecie znajdują się źródła tych cząstek ani jak są one przyspieszane do obserwowanych ekstremalnych energii. Nie ma jednak wątpliwości, że cząstki o tak gigantycznych energiach naprawdę docierają do nas z Kosmosu; ich pochodzenie i mechanizm przyspieszania są jedną z największych zagadek współczesnej astrofizyki.

Strumień promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii jest niezwykle mały: mniej niż jedna cząstka na stulecie pada na powierzchnię jednego kilometra kwadratowego. Dlatego konieczne jest zbudowanie ogromnego detektora, aby móc je obserwować. Ponadto, promienie kosmiczne skrajnie wysokich energii są obserwowane tylko pośrednio, poprzez obserwacje tzw. wielkich pęków atmosferycznych inicjowanych przez cząstki pierwotne. To co można zaobserwować to kaskady cząstek wtórnych poruszających się w atmosferze i w końcu docierających do ziemi. Do eksperymentalnych badań takich pęków skonstruowano gigantyczny układ detektorów promieni kosmicznych: Obserwatorium Pierre Auger, ulokowane w okolicy miasta Malargue, w prowincji Mendoza w Argentynie. Jest to detektor hybrydowy, który łączy w sobie różne techniki obserwacji wielkich pęków. Stacje detektorów naziemnych są rozmieszczone w odstępach 1.5 km od siebie. Obserwatorium składa się z sieci 1660 detektorów cząstek, rozstawionych na powierzchni około 3000 km<sup>2</sup>. Drugi system detekcji wykorzystuje słabą poświatę (fluorescencję) wywołaną zderzeniami cząstek pędu z cząsteczkami powietrza. W ciemne, bezksiężycowe noce, precyzyjnie dostrojone teleskopy mogą mierzyć to słabe światło. Całkowita ilość światła zależy od liczby cząstek w pęku, która z kolei zależy od energii pierwotnej cząstki promieniowania kosmicznego inicjującej ten pęk w atmosferze. System składa się z 4 stanowisk detektorów fluorescencyjnych, obserwujących niebo ponad siecią detektorów naziemnych.

Wyniki uzyskane do tej pory w Obserwatorium Pierre Auger dramatycznie poszerzyły nasze rozumienie promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii, jednak niektóre z tych wyników są bardzo zaskakujące, a ich interpretacja jest jeszcze niejasna, jak np. obserwowane słumienie strumienia promieni kosmicznych powyżej energii około  $4 \times 10^{19}$  eV. Taka cecha została przewidziana jako efekt oddziaływania promieni kosmicznych z kosmicznym tłem mikrofalowym (będącym pozostałością po Wielkim Wybuchu) i jest znana jako obcięcie Greisena-Zatsepina-Kuzmina (GZK). Jednak dane doświadczalne dotyczące składu promieni kosmicznych zebrane przez Obserwatorium Pierre Auger sugerują, że tłumienie widma może nie być spowodowane tylko przez efekt GZK, ale może być również interpretowane jako wynik

granicy przyspieszania cząstek przez źródła. Badania te pokazują, że promienie kosmiczne o skrajnie wysokich energiach nie są tylko protonami i/lub jądrami żelaza, ale że w obserwowanych promieniach kosmicznych może znajdować się znaczna część składowa jąder o masach pośrednich. Kluczem do rozwiązania tego problemu jest określenie składu promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii (najlepiej dla indywidualnych zdarzeń).

Najbardziej wiarygodne badania składu promieni kosmicznych są obecnie możliwe dzięki obserwacjom z użyciem detektora fluorescencyjnego, który może pracować tylko w ciemne, bezksiężycowe noce i przy dobrych warunkach pogodowych. Takie ograniczenie czasu obserwacji przekłada się na mniejszą statystykę zebranych danych, pozwalając na dokładne badania składu masowego tylko do energii  $4 \times 10^{19}$  eV, czyli tuż poniżej obszaru tłumienia strumienia cząstek promieniowania kosmicznego. Jednocześnie dane z naziemnego detektora sięgają powyżej  $10^{20}$  eV. Jednak precyzyjne określenie składu promieni kosmicznych wyłącznie w oparciu o detektor naziemny było dotychczas bardzo trudne ze względu na duże systematyczne niepewności. Dlatego też Współpraca Pierre Auger postanowiła zwiększyć możliwości naziemnego układu detektorów cząstek. Modernizacja ta pozwoli na dokładniejsze pomiary natury cząstek pęku atmosferycznego na poziomie gruntu, w szczególności na oddzielenie sygnałów pochodzących od składowych mionowej i elektromagnetycznej wielkich pęków atmosferycznych.

W ramach tego projektu będziemy brać udział w pracach całej współpracy Pierre Auger mających na celu sprawdzenie poprawności działania zmodernizowanych urządzeń, a także przygotowanie narzędzi które będą używane przy analizie nowych danych. Planujemy wykorzystywać przy tym zarówno sprawdzone metody statystyczne (np. analizę głównych składowych), jak i nowe, obiecujące narzędzia dostarczone przez niedawny rozwój technik opartych o sieci neuronowe. Wyniki proponowanego projektu przyczynią się do postępu w badaniach nad składem promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii, co przybliży nas do ostatecznego wyjaśnienia ich charakteru i pochodzenia.