

**Nr umowy:** UMO-2020/39/B/ST9/01398

**Tytuł:** Badanie promieni kosmicznych w zmodernizowanym Obserwatorium Pierre Auger

### **Cel projektu**

Projekt dotyczy Proponowany projekt ma na celu eksperymentalne badanie promieni kosmicznych i oddziaływań hadronowych przy energiach powyżej  $10^{18}$  eV. Cząstki o tak wysokich energiach - o kilka rzędów wielkości wyższych niż energie uzyskiwane w akceleratorach cząstek stworzonych przez człowieka - docierają na Ziemię z głębi Kosmosu. Z naszą obecnie dostępną technologią, akcelerator Wielkiego Zderzacza Hadronów musiałby być przeskalowany do 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 skrajnie wysokich energii promieni kosmicznych jest niezwykle mały. Mniej niż jedna cząstka na stulecie przybywa 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 promienie kosmiczne. 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. Obserwatorium znajduje się w pobliżu miasta Malargue w prowincji Mendoza w Argentynie. Jest to detektor hybrydowy, który łączy w sobie sieć detektorów naziemnych z detektorem fluorescencyjnym. Stacje detektorów naziemnych to wodne detektory Czerenkowskie rozmieszczone w odstępach 1.5 km od siebie. Obserwatorium składa się z 1660 detektorów cząstek, które tworzą gigantyczną sieć o powierzchni około 3000 km<sup>2</sup>. Drugi system detekcji wykorzystuje słabą poświatę (fluorescencję) wywołaną zderzeniami cząstek pęku z cząsteczkami powietrza. W ciemne, bezksiężycowe noce, precyzyjnie dostrojone czujniki światła mogą mierzyć to słabe światło fluorescencji. 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 detektorów fluorescencyjnych, z których każdy zawiera 6 teleskopów.

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 trudna w ramach obecnego paradygmatu promieni kosmicznych np. obserwacja sflumienia strumienia

promieni kosmicznych około  $4 \times 10^{19}$  eV. Taka cecha jest przewidywana w wyniku oddziaływania promieni kosmicznych z kosmicznym tłem mikrofalowym (będącym pozostałością po Wielkim Wybuchu) i jest znana jako obcięcie Greisen-Zatsepin-Kuzmin (GZK). Jednak dane doświadczalne dotyczące składu promieni kosmicznych zebrane przez Obserwatorium Pierre Auger sugerują, że tłumienie widma nie może być spowodowane tylko przez efekt GZK, ale ta cecha może być również interpretowana jako manifestacja granicy przyśpieszania cząstek u źródła, z maksymalną energią proporcjonalną do ładunku cząstki. 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 najdokładniejsze jak dotąd 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 związane z modelowaniem pęków hadronowych oraz ograniczeniami algorytmów rekonstrukcji. Dlatego też Współpraca Pierre Auger postanowiła zwiększyć możliwości naziemnego układu detektorów cząstek, który w sposób ciągły gromadzi dane. 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.

Wyniki proponowanego projektu przyczynią się do znacznego postępu w badaniach nad składem promieni kosmicznych skrajnie wysokich energii, co przybliży nas do ostatecznego wyjaśnienia ich charakteru i pochodzenia. Szczegółowa analiza rozwoju wielkiego pęku atmosferycznego, wsparta dokładnymi pomiarami z unowocześnionych detektorów, pozwoli nam na zbadanie oddziaływań jądrowych i przetestowanie różnych ich modeli przy energiach znacznie wyższych niż te osiągalne w akceleratorach cząstek na Ziemi.