

Cząstki na szczytach gór

Grzegorz BRONA

Powszechnie wiadomo, że w celach naukowych w góry udają się geolodzy, archeolodzy, botanicy oraz zoologowie. Wiadomo również, że budują tutaj swoje potężne teleskopy astronomowie. Ale co może badać w górach fizyk? Okazuje się, że góry to wymarzone miejsce pracy dla fizyka. Miejsce, w którym prowadzi on badania i szuka odpowiedzi na zagadki zadawane przez Wszechświat.

W 1765 roku Charles Augustin de Coulomb odkrył dziwne zjawisko, nazwane elektrycznym prądem ciemnym. Otóż zaobserwował on zagadkową ucieczkę ładunku z naładowanych i izolowanych ciał. W drugiej połowie wieku XIX zagadnieniu temu poświęcono bardzo dużo czasu, ale bez rezultatów. Nad problemem tym pracowali tak wielcy fizycy, jak Joseph John Thomson (uznawany za odkrywcę elektronu) czy Ernest Rutherford (odkrywca jądra atomowego). Niestety, prąd ciemny wciąż pozostawał tajemnicą.

Na początku XX wieku ojciec Theodore Wulf, jezuita, przeprowadził eksperyment, który przyczynił się do wyjaśnienia tego zjawiska. Postanowił on zmierzyć poziom promieniowania na szczycie Wieży Eiffla. Przewidywał, że promieniowanie będzie mniej intensywne. Naukowcy wierzyli bowiem, że naturalne promieniowanie, powodujące jonizację umożliwiającą powstawanie prądu ciemnego, pochodzi przede wszystkim z powierzchni Ziemi. Tymczasem okazało się, że intensywność promieniowania na szczycie wieży była wyższa niż rejestrowana u jej podstawy. Wynik był tak zaskakujący, że inni naukowcy postanowili go jak najszybciej zweryfikować. W latach 1911–1912 Victor Hess, przy współpracy z Wulfem, wykorzystując balon (zdjęcie) wyposażony w specjalną aparaturę, przeprowadził serię pomiarów promieniowania na różnych wysokościach.



I rzeczywiście okazało się, że wraz z wysokością intensywność promieniowania rośnie! Ale skąd bierze się ten efekt?

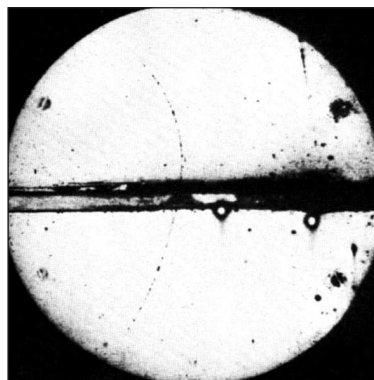
1

Jedyną możliwą odpowiedzią było stwierdzenie, że promieniowanie obserwowane na dużych wysokościach pochodzi nie z Ziemi, lecz z kosmosu! W taki właśnie sposób odkryto promieniowanie kosmiczne. W 1936 roku za odkrycie promieniowania kosmicznego Victor Hess został uhonorowany Nagrodą Nobla.

Jak dziś wiemy, promieniowanie kosmiczne dociera do nas z głębi kosmosu. Składa się ono z bardzo szybko poruszających się cząstek materii, takich jak protony, cząstki alfa (czyli jądra helu) oraz z jąder cięższych pierwiastków. Cząstki te docierając do atmosfery Ziemi, oddziałują wielokrotnie z jej atomami. W oddziaływaniach tych, podobnie jak w zderzeniach w akceleratorach, powstaje bardzo dużo tzw. cząstek wtórnych. Zdarza się, że jedna cząstka promieniowania pierwotnego powoduje powstanie setek, a nawet tysięcy cząstek promieniowania wtórnego. To właśnie te cząstki powodują jonizację powietrza.

Ale dlaczego naukowcy tak bardzo interesują się tymi maleńkimi cząstkami i co jest w nich tak tajemniczego, aby poświęcać tyle czasu na ich badanie?

Przez pierwszą połowę XX wieku promieniowanie kosmiczne stanowiło praktycznie jedyne źródło wysokoenergetycznych cząstek i było wykorzystywane do badania mikroświata. To właśnie w promieniowaniu kosmicznym Carl Anderson odkrył w 1932 roku pozyton, pierwszy ślad przewidzianej przez Paula Diraca antymaterii (zdjęcie). Później odkryto jeszcze mion (masywniejszą wersję elektronu), pion (nośnik sił jądrowych) oraz cząstki dziwne (zawierające niewystępujący w zwykłej materii kwark dziwny).



Obecnie najciekawsze jest to, że niektóre cząstki pierwotnego promieniowania kosmicznego mają wprost

niewiarygodnie wysokie energie, ponad 100 milionów razy wyższe, niż energie osiągnięte w największych akceleratorach na Ziemi! Przez bardzo długi czas, a może nawet i nigdy, nie zostanie skonstruowane na Ziemi tak wielkie i potężne urządzenie, które będzie w stanie przyspieszyć cząstki do energii spotykanych w pierwotnym promieniowaniu kosmicznym.

Gdzie dziś prowadzi się eksperymenty związane z promieniowaniem kosmicznym? Przede wszystkim wysoko w górach.

Jeśli znajdziemy się na wysokości 6 km nad poziomem morza, to nad naszymi głowami pozostanie zaledwie połowa atmosfery Ziemi. Wysokość sprzyja więc obserwacjom kosmosu, a w szczególności obserwacjom promieniowania kosmicznego. Do rejonów położonych niżej dochodzi bowiem znacznie mniej cząstek promieniowania niż do terenów górskich. Cząstki po prostu grzęzną w atmosferze.

Im wyżej umieszczone jest laboratorium badające promieniowanie kosmiczne, tym mniejsza warstwa atmosfery znajduje się nad nim. Z tego punktu widzenia najlepszym obserwatorium byłoby obserwatorium na prawie 9 kilometrowym Mount Everest. Oczywiście, na wybór lokalizacji laboratorium mają też wpływ inne czynniki, jak łatwość dostępu, odpowiednie warunki pracy, wystarczającej wielkości płaski teren, na którym można rozstawić urządzenia pomiarowe. Z tych powodów lokalizacja stacji badawczej zbyt wysoko w górach jest niemożliwa. Gdyby natomiast na Ziemi istniały tak potężne wzniesienia jak na Marsie (sięgający 25 kilometrów Olympus Mons), które mają dostatecznie płaskie obszary na bardzo dużych wysokościach, laboratoria cząstek kosmicznych byłyby właśnie umiejscawiane na nich. No właśnie, a właściwie dlaczego tak duże wzniesienia na Ziemi nie istnieją? Na to pytanie w bardzo ciekawy sposób spróbował odpowiedzieć były dyrektor ośrodka CERN Victor Weisskopf. Jeśli góra jest za duża i za ciężka, zaczyna się zapadać w Ziemię. Jeżeli wyzwolana energia potencjalna jest wystarczająca do stopienia części skały, która się zapadła, to góra nadal będzie się zapadać.

Rozumowanie to wykazuje odwrotnie proporcjonalną zależność między maksymalną wysokością gór a natężeniem pola grawitacyjnego, dającą w wyniku najwyższe góry wysokości 4,9 km na Ziemi oraz 9 km na Marsie, co zgadza się mniej więcej z rzeczywistością.

Nie mogąc liczyć na górę wielkości Olympus Mons, naukowcy swoje laboratoria umieścili trochę niżej.

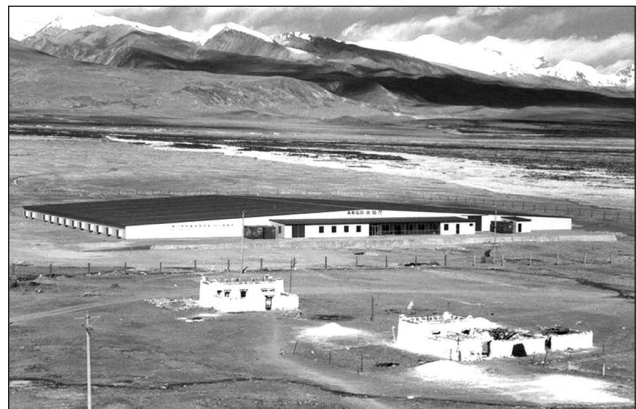
Jednym z nich jest Laboratorium Chacaltaya na górze Chacaltaya niedaleko La Paz (Boliwia). Znajduje się na wysokości 5220 metrów i jest najwyżej położonym

stałym laboratorium fizycznym na Ziemi. Dokonuje się w nim badań promieniowania kosmicznego, używając zestawu niewielkich liczników scyntylicyjnych, komór emulsyjnych oraz kalorymetrów hadronowych.



Kolejnym miejscem jest góra Roque de los Muchachos (wyspa La Palma, 100 km na zachód od Teneryfy), na której znajdują się teleskopy astronomiczne oraz zespoły detektorów promieniowania kosmicznego: CLUE, HEGRA i MAGIC (zdjęcie powyżej). Rejestrują one pojawienie się w atmosferze błysków światła emitowanego przez przechodzące przez atmosferę wysokoenergetyczne cząstki promieniowania kosmicznego (efekt Czerenkowa).

Laboratorium HiRes znajduje się na pustyni w stanie Utah (USA) na wysokości 1500 metrów. Przechodząca przez atmosferę cząstka promieniowania kosmicznego wzbudza atomy. HiRes wykorzystuje zespół teleskopów obserwujących atmosferę i poszukujących światła emitowanego przez te wzbudzone atomy.



Laboratorium ARGO-YBJ (zdjęcie) znajduje się natomiast w Tybecie w Chinach na wysokości 4300 metrów. Wykorzystuje się tam detektory wykrywające przechodzące przez nie cząstki promieniowania kosmicznego. Detektory pokrywają obszar około 6500 metrów kwadratowych. Jest to więc największy zespół detektorów promieniowania kosmicznego na Ziemi.

Podstawowym pytaniem, na które chcą odpowiedzieć fizycy pracujący w owych górskich eksperymentach, jest zagadka mechanizmu akceleracji (czyli przyspieszania) cząstek do tak ogromnych energii. Nie potrafimy bowiem dzisiaj określić, gdzie we Wszechświecie znajdują się obiekty zdolne aż tak przyspieszać cząstki. Nie potrafimy również zidentyfikować procesu fizycznego, który za to odpowiada. Aby znaleźć odpowiedź na powyższe pytania, fizycy muszą zmierzyć charakterystykę energetyczną promieniowania kosmicznego (czyli zależność liczby rejestrowanych cząstek danego typu od ich energii). A że zakres energii cząstek jest bardzo szeroki, potrzebnych jest wiele eksperymentów, które, uzupełniając się, są w stanie dokonać pomiarów całego widma.

Obecnie istnieje kilka teorii mówiących o pochodzeniu tych cząstek. Zakłada się, że niskoenergetyczna część promieniowania to cząstki emitowane przez zwykle gwiazdy (tzw. wiatr gwiazdowy). Cząstki o wyższej energii mogą natomiast pochodzić z rejonów, w których wybuchła supernowa. W czasie wybuchu supernowej wyzwolana jest olbrzymia ilość energii. Jeśli część tej energii zostaje spożytkowana na przyspieszenie cząstek, tłumaczyłoby to większą część widma promieniowania kosmicznego. Jednak nawet tak potężne kataklizmy nie potrafią rozpędzić cząstek do najwyższych energii obserwowanych w promieniowaniu kosmicznym. Co we Wszechświecie jest więc na tyle potężne, aby tego dokonać? No cóż, fizycy nie są tego pewni...

Najbardziej prawdopodobnym kandydatem na źródła promieniowania kosmicznego skrajnie wysokich energii wydają się potężne czarne dziury o masach wielu milionów słońc, które najprawdopodobniej znajdują się w centrach odległych radiogalaktyk. Silne przyciąganie grawitacyjne czarnej dziury powoduje, że materia ją otaczająca zaczyna na nią opadać, tworząc „wir” w kształcie dysku (dysk akrecyjny). Część materii może być wyrzucona z ogromną prędkością z tego dysku wzdłuż osi jego obrotu. Strugi wyrzucanej materii powodują powstanie gigantycznych fal uderzeniowych, w których mogą być przyspieszane cząstki.

Inna teoria sugeruje, że cząstki promieniowania kosmicznego o najwyższych energiach powstają w wyniku zderzeń dwu galaktyk. Jeszcze bardziej egzotyczne teorie postulują, że Wszechświat jest wypełniony relikdami pozostałymi po Wielkim Wybuchu, zwanymi defektami topologicznymi. Te hipotetyczne obiekty to „struny kosmiczne”, „ściany domen” oraz „monopole”. W tej chwili fizycy nie mają żadnych dowodów na to, że obiekty te rzeczywiście istnieją. Jednak gdyby faktycznie istniały, to mogłyby się one samoistnie rozpadać. W rozpadach tych wyzwolana by była ogromna ilość energii, wystarczająca do wyprodukowania cząstek promieni kosmicznych o najwyższych obserwowanych energiach. Samo udowodnienie związku między promieniowaniem kosmicznym a defektami topologicznymi stanowiłoby ważną wskazówkę odnośnie tego, jak wyglądał Wszechświat zaraz po Wielkim Wybuchu.

Niebo nad górami zasnulo się chmurami. Tysiące cząstek promieniowania kosmicznego przechodzą właśnie przez warstwy powietrza we wzbierającej ciemnej chmurze. Cząstki te powodują dodatkową jonizację powietrza (efekt, który po raz pierwszy został zaobserwowany przez Coulomba 250 lat temu). Zjonizowane atomy stają się jądrami kondensacji pary wodnej. Za chwilę spadnie deszcz...



Rozwiązanie zadania M 1023.

Niech α, β i γ będą kątami wewnętrznymi w trójkącie ABC , odpowiednio przy wierzchołkach A, B i C , a kąty γ_1 i γ_2 kątami wewnętrznymi w trójkącie R_2R_3C przy wierzchołkach R_2 i R_3 odpowiednio. Wtedy

$$|\sphericalangle R_2CR_3| = \alpha + \beta \quad \text{oraz} \quad |\sphericalangle ACB| = \gamma_1 + \gamma_2.$$

Niech teraz D będzie takim punktem na boku AB , że $|\sphericalangle DCB| = \gamma_2$, a punkt E takim punktem na boku R_2R_3 , że $|\sphericalangle R_2CE| = \beta$. Wówczas

$$\triangle CR_2E \equiv \triangle BCD \quad \text{oraz} \quad \triangle CR_3E \equiv \triangle ACD.$$

Zatem D i E są środkami boków odpowiednio AB i R_2R_3 . W analogiczny sposób dzielimy kąt ABC . Niech S będzie punktem przecięcia środkowych trójkąta ABC . Mamy

$$|SC| = \frac{2}{3}|CD| = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}x_6 = \frac{1}{3}x_6.$$

Przesuniemy teraz trójkąt SBC o wektor $\overrightarrow{BR_1}$ i oznaczmy przez Q obraz punktu S w tym przesunięciu. Punkty Q, R_2 i P_2 są współliniowe (dlaczego?), podobnie jak punkty Q, R_1 i P_1 . Oczywiście $\triangle QR_1R_2 \equiv \triangle SBC$. Zatem $|QR_2| = \frac{1}{3}x_6$ i analogicznie $|QR_1| = \frac{1}{3}x_5$. Stąd trójkąty $\triangle QP_1P_2$ i $\triangle QR_1R_2$ są podobne w skali 4:1. Zatem kwadraty K_7, K_8, K_9 mają boki cztery razy dłuższe od odpowiednio K_1, K_2, K_3 , co kończy dowód.

