

Neutrino na biegunie

Paweł PRZEWŁOCKI*

*Narodowe Centrum Badań Jądrowych

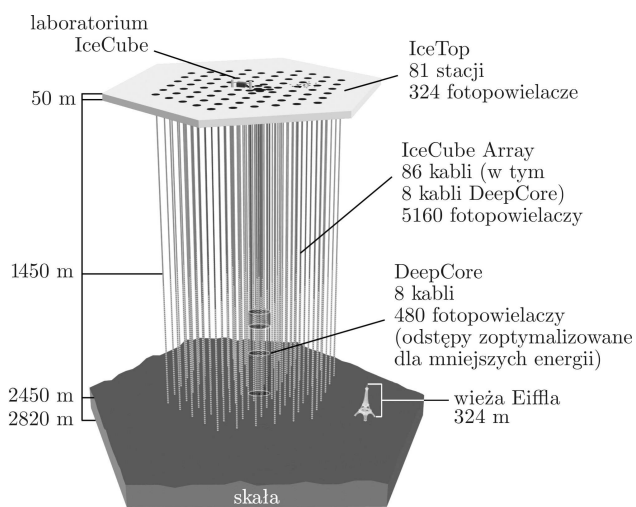
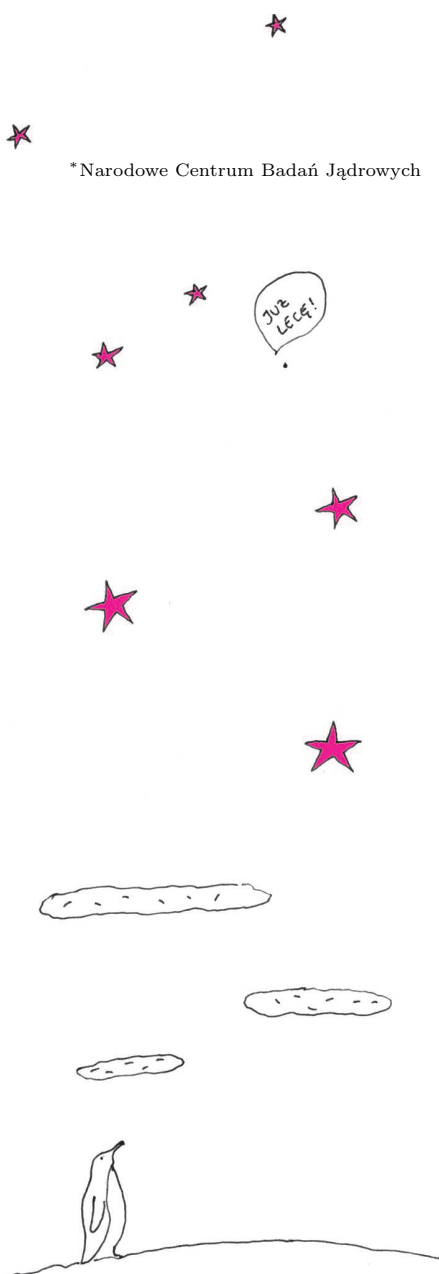
Czy kiedykolwiek byliście na biegunie południowym? Bezkresny śnieg, średnia temperatura sięgająca -50°C , silny zimny wiatr, pół roku całkowitej ciemności (i pół ciągłego światła, bo słońce wschodzi i zachodzi tam raz na rok!). Kto chciałby przebywać w takich warunkach? Co mogłoby spowodować, żeby ktoś z własnej woli poświęcił kilka miesięcy swojego życia, aby spędzić je w tak nieprzyjaznym środowisku?

Pewnie się już domyślacie – chodzi o naukę. Tak, Antarktyda jest niezwykle atrakcyjnym miejscem do przeprowadzania różnorodnych badań naukowych. Na Antarktydzie prowadzonych jest wiele pomiarów związanych z biologią, glaciologią, geologią, oceanografią, chemią czy klimatologią. Niewielu ludzi jednak wie, że również fizycy neutrino zainteresowani są najzimniejszym ziemskim kontynentem. Dzieje się to z dosyć nietypowej przyczyny – otóż antarktyczna czapa lodowa jest fantastycznym materiałem, w którym można zbudować gigantyczny detektor neutrino zdolny rejestrować neutrino o niezwykle wysokich energiach.

Czemu to jest interesujące? Neutrino to wyjątkowe cząstki elementarne. Nie mają ładunku elektrycznego, niezwykle słabo oddziałują z materią, prawie nie mają masy. Dzięki temu potrafią nieniepokoje przebywać kosmiczne odległości, nie podlegając prawie żadnym siłom, które mogłyby zaburzyć ich lot. Są takimi małymi kosmicznymi posłańcami, którzy, bez przeszkód przelatując przez gwiazdy i galaktyki, przynoszą nam informację z dalekich zakątków wszechświata. Jest to sytuacja dosyć wyjątkowa. Inne dostępne nam narzędzia obserwacji kosmosu – takie jak rejestracja światła, czyli fotonów, a także innych cząstek, np. protonów – mimo że dostarczają wielu obserwacji, obciążone są wadą związaną z tym, że cząstki będące źródłem informacji oddziałują wielokrotnie po drodze, napotykając np. gaz międzygwiazdny. Zmienia to kierunek ich ruchu albo powoduje, że gubią się po drodze. Cząstki naładowane elektrycznie, takie jak protony czy elektrony, podlegają też działaniom pól magnetycznych, zmieniających ich tor lotu. Wszystko to rozmywa i niszczy informacje, na których odczytaniu tak bardzo nam zależy. Neutrino mają tu więc niesłychaną przewagę, jest jednak z nimi inny problem – bardzo trudno je wykryć, a jeśli już zostaną złapane, to niezwykle trudno rozpoznać, skąd przychodzą. Mamy bowiem do czynienia nie tylko z neutrino kosmicznymi, ale także pochodzącymi z wyższych warstw atmosfery, Słońca, a nawet wnętrza Ziemi. Cząstki te produkowane są także w wielkich ilościach jako produkt uboczny rozpadów radioaktywnych w reaktorach jądrowych. Jeśli jednak

będziemy w stanie pokonać te przeszkody, czyli schwytać i zidentyfikować neutrino z dalekich galaktyk, czeka nas szansa na zapoczątkowanie nowego działu fizyki – astronomii neutrinowej.

Grupa prawie 300 fizyków z 12 krajów postanowiła w tym celu wykorzystać antarktyczny lód. Co ma on nam do zaoferowania? Jest niesłychanie przezroczysty i jednorodny – oczywiście jeśli zejdziemy odpowiednio głęboko pod powierzchnię. Neutrino bardzo rzadko oddziałują – ale jeśli już nastąpi interakcja z jądrami atomów składających się na H_2O , to w jej efekcie powstaną cząstki naładowane, najczęściej elektrony bądź ich ciężsi bracia – miony. Te cząstki podróżują przez lód i powodują emisję światła, tzw. promieniowania Czerenkowa. Gdybyśmy tylko mogli wstawić czujniki wychytujące światło z lodu, moglibyśmy rejestrować oddziaływania naszych kosmicznych posłańców i na tej podstawie rekonstruować ich własności, np. energię bądź kierunek, z którego nadeszły.



Schemat detektora IceCube. Źródło: IceCube Collaboration.



Z przyjemnością informujemy, że w tym roku odbędą się

VI Niezależne Mistrzostwa w Analizie Danych NOMAD

Jest to wydarzenie organizowane przez Koło Naukowe Statystyki Matematycznej **Gauss** działające przy Politechnice Wrocławskiej i przeznaczony jest dla studentów i uczniów szkół ponadgimnazjalnych. Konkurs skierowany jest przede wszystkim do osób szczególnie zainteresowanych statystyką i informatyką lub pragnących poszerzać i zdobywać wiedzę.

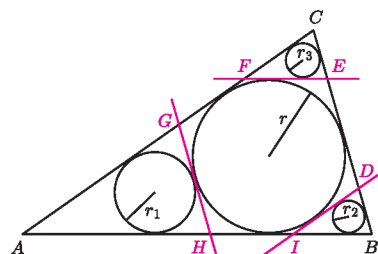
Jeśli jesteś zainteresowany, nie zwlekaj! Odwiedź naszą stronę internetową

nomad.im.pwr.wroc.pl

i poznaj szczegóły.



Rozwiązanie zadania M 1487.



Niech r_1, r_2, r_3 oznaczają odpowiednio promienie okręgów wpisanych w trójkąty AHG, BDI i CFE , a P_1, P_2, P_3 – obwody tych trójkątów. Ponadto niech P oznacza obwód trójkąta ABC . Z równości odcinków stycznych do okręgu poprowadzonych z jednego punktu (zastosowanej trzykrotnie do okręgu wpisanego w trójkąt ABC oraz punktów D, E, F) otrzymujemy

$$DE + FG + HI = EF + GH + ID.$$

Po dodaniu

$$AG + AH + BI + BD + CE + CF$$

do obu stron równości dostajemy

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

Z podobieństwa każdego z małych trójkątów do trójkąta ABC wynika, że dla $i = 1, 2, 3$ zachodzi równość

$$\frac{P_i}{P} = \frac{r_i}{r}.$$

W takim razie

$$r = r \cdot \frac{P_1 + P_2 + P_3}{P} = r_1 + r_2 + r_3.$$

Tak właśnie postąpili naukowcy z eksperymentu IceCube, czyli KostkaLodu. Kilometr sześcienny lodu (jest to więc bardziej Kość niż Kostka) na biegunie południowym wyposażyli w fotopowielacze – detektory fotonów. Żeby umieścić je pod powierzchnią, stworzyli z nich łańcuchy – każdy z nich składa się z 60 fotopowielaczy połączonych kablem. Wprowadzali je w głąb czapy lodowej, rozpuszczając ją wcześniej w pionowych wąskich kanałach gorącym strumieniem wody. Jest to niezwykle skomplikowana operacja – najgłębiej położone fotopowielacze trafiają na głębokość 2,5 km! Po takiej operacji lód błyskawicznie zamraża – detektory już od tego momentu są nie do ruszenia – a naukowcy dysponują sygnałami emitowanymi przez nie, przesyłanymi za pomocą kabli. Takich łańcuchów zatopiono 86, każdy w odległości 125 m od sąsiednich. Dzięki temu eksperyment podgląda zdarzenia, które mają miejsce w ogromnej bryle lodu – co zwiększa szanse na zaobserwowanie neutrin (im większa objętość obserwowanej materii, tym więcej oddziaływań w niej zajdzie), ale też umożliwia rejestrację zdarzeń pochodzących od neutrin o niezwykle wysokich energiach. Dlaczego? Cząstki naładowane produkowane w zderzeniach neutrin z materią mają energię podobną do energii neutrin. Gdy mamy do czynienia z bardzo wysokimi energiemi, obszar, w którym taka cząstka emituje światło Czerenkowa, jest olbrzymi – traci ona bowiem swą energię wskutek procesu jonizacji, a im większa energia, tym więcej czasu (i przestrzeni) potrzeba, aby wytracić całą energię. W przypadku IceCube możemy liczyć na rejestrację przypadków o niedostępnych dotąd energiach rzędu wielu PeV (petaelektronowoltów). Światło z takiego zdarzenia zabłyśnie w obszarze całego detektora, a więc będzie rejestrowane w całym kilometrze sześciennym lodu!

Wysokie energie są bardzo interesujące, bo niewiele jest źródeł zdolnych emitować tak energetyczne neutrina. Jednym z nich są aktywne centra galaktyk (*active galactic nuclei*, AGN), niezwykle silne kosmiczne źródła promieniowania działające jak wielkie naturalne przyspieszacze cząstek. Astrofizycy przewidują, że niektóre galaktyki mają w swych centrach czarne dziury, ściągające grawitacyjnie otaczającą je materię, która, opadając spiralnie, tworzy dysk akrecyjny. Takie obracające się obiekty emitują często duże liczby cząstek naładowanych w formie strumieni (dżetów). Teorie przewidują, że ich energie mogą być bardzo wysokie. Część z tych cząstek rozpada się na neutrina, a te bez przeszkód mogą dolecieć na Ziemię i dać nam wgląd w procesy rozgrywane się w odległych galaktykach. Energie takich neutrin są jednocześnie wystarczająco wysokie, abyśmy mogli w naszym detektorze obserwować pojedyncze oddziaływania – gdyby były niższe, zginęłyby w natłoku oddziaływań neutrin atmosferycznych, których dla energii typu MeV czy GeV jest nieporównanie więcej (i nie dalibyśmy rady ich odróżnić).

Detektor IceCube zaczął działać w 2010 roku. W dotychczas przeanalizowanych danych zaobserwował 37 oddziaływań wysokoenergetycznych neutrin, w tym 3 o najwyższych energiach (naukowcy tak je polubili, że nadali im imiona popularnych bohaterów Ulicy Sezamkowej: Ernie, Bert i Big Bird). Niektóre z nich z pewnością pochodzą spoza naszej Galaktyki. Uczestnicy eksperymentu wykonali mapę nieba z naniesionymi kierunkami, z których pochodziły zarejestrowane neutrina, w nadziei na identyfikację obiektów astronomicznych, z których pochodzą. Okazało się jednak, że na razie neutrin tych jest za mało, aby potwierdzić hipotezę, iż pochodzą one ze źródeł punktowych.

To jednak dopiero początek. Wraz z upływem czasu mamy nadzieję zbierać dużo więcej danych i zidentyfikować źródła kosmicznych neutrin o wielkich energiach. Będzie to niesamowicie cenny wkład w znajomość procesów fizycznych rozgrywających się we wszechświecie. Eksperyment będzie także ulepszany, aby mógł rejestrować zarówno neutrina o jeszcze wyższych niż dotychczas energiach, jak i takich, które dotąd były zbyt małe, aby IceCube mógł je zauważyć.

Trzymajmy więc kciuki za ten piękny eksperyment, aby obserwował jak najwięcej zdarzeń. Dla zwykłych ludzi to możliwość obserwacji w działaniu bardzo egzotycznego – zarówno naukowo, jak i geograficznie – naukowego urządzenia. A dla fizyków neutrin – okazja, by wyjechać na Antarktydę!