

## Podjebrane kaskady

Kiedy wysokoenergetyczna cząstka przechodząca przez gęsty ośrodek dielektryczny zderzy się z którąś z cząstek budujących ten ośrodek, może powstawać wiele nowych cząstek, m.in. fotonów, elektronów i pozytonów, które tworzą swoistą kaskadę cząstek. Taka kaskada może mieć kilka centymetrów długości i jest stosunkowo szybka, gdyż tworzące ją cząstki niejednokrotnie poruszają się z prędkościami przewyższającymi prędkość światła w tym ośrodku. Pozytony szybko anihilują, pozostawiając w kaskadzie ujemnie naładowane elektrony. Występuje wówczas tzw. zjawisko Czerenkowa, czyli emisja promieniowania elektromagnetycznego przez naładowane cząstki ponadświetlne. Z punktu widzenia detekcji fal elektromagnetycznych o długościach przewyższających 10 cm, w szczególności fal radiowych, kaskada cząstek „wygląda” jak wielki pojedynczy ładunek, co oznacza, że fale radiowe emitowane przez pojedyncze cząstki kaskady wzajemnie się wzmacniają (mówiąc fachowo, są spójne). Pozwala to na bardzo wydajne rejestrowanie w zakresie radiowym efektów oddziaływania wysokoenergetycznych cząstek z materią.

Opisany wyżej proces nosi nazwę zjawiska Askaryana i został po raz pierwszy opisany 55 lat temu. Trzydzieści lat temu po raz pierwszy zobaczono to zjawisko w lodzie, po naświetleniu bryły lodu wiązką z akceleratora SLAC. W kolejnym roku nastąpiła pierwsza detekcja zjawiska Askaryana w lodzie w warunkach „polowych”, tj. w lodowcu antarktycznym.

Było to dziełem zespołu eksperymentu ANITA (*Antarctic Impulse Transient Antenna*) [1]. Układ doświadczalny to zespół anten radiowych przymocowanych do balonu wypełnionego helem i krążącego nad lodowym kontynentem w naturalnym wirze mas powietrza na wysokości około 35 km. Pierwszy układ doświadczalny przeleciał nad Antarktydą w latach 2006–2007 i zarejestrował 16 kaskad. Jedną z nich wydała się badaczom nieco podejrzana – rekonstrukcja jej parametrów wskazywała na to, że biegła ona w górę. Oznaczałoby to, że wywołująca ją cząstka również musiała poruszać się w górę, czyli musiałaby przebiec w poprzek kuli ziemskiej. Szkopuł w tym, że nie znamy cząstek o takiej własności. Najślabiej ze wszystkich cząstek oddziałują neutrino, ale ich prawdopodobieństwo interakcji z ziemską materią rośnie z kwadratem energii neutrino. O ile dla niskoenergetycznych neutrino słonecznych czy atmosferycznych nasz glob jest w zasadzie przezroczysty, to neutrino wywołujące obserwowane w detektorze ANITA kaskady mają energie miliardy razy większe i po prostu muszą „utknąć” we wnętrzu kuli ziemskiej. Można by przypuszczać, że ANITA zarejestrowała fale radiowe, które odbiły się od jakiejś niejednorodności w lodzie, ale wtedy zmieniłaby się polaryzacja tych fal, a tego zjawiska nie zaobserwowano.

Był to jednak pojedynczy przypadek. Naukowcy przeszli szybko nad nim do porządku dziennego. Jednak po opracowaniu danych z trzeciego przelotu, jaki odbywał się na przełomie lat 2014–2015, do kolekcji obserwowanych kaskad biegnących pod górę doszła druga (i 19 „normalnych”) [2]. Sprawdzono, że neutrino wywołujące podejrzone kaskady nie mogły pochodzić ze znanych supernowych lub błysków gamma. Czym zatem są te dwa podejrzone przypadki?

Uczciwa odpowiedź brzmi – nie wiadomo. Jeśli jednak puścimy wodze fantazji [3], możemy wyobrazić sobie, że mamy do czynienia z oddziaływaniami jakichś nowych, nieznanymi jeszcze cząstek. Może są to cząstki ciemnej materii „schwyte” we wnętrzu Ziemi? A może to wygenerowane podczas Wielkiego Wybuchu bardzo słabo oddziałujące cząstki? Czy zatem jesteśmy w trakcie przełomowego odkrycia, czy też, jak wiele razy wcześniej, podniecamy się fluktuacją statystyczną lub niezidentyfikowanym błędem systematycznym?

Krzysztof TURZYŃSKI



### Rozwiązanie zadania F 984.

Po podgrzaniu o  $\Delta T$  bimetaliczna płytka wygnie się w łuk, a jej zewnętrzne powierzchnie będą łukami o długościach  $l_1 = l_0(1 + \alpha_1 \Delta T)$  oraz  $l_2 = l_0(1 + \alpha_2 \Delta T)$  odpowiadającymi kątowi  $\varphi$  (miara łukowa) i okręgom o promieniach, odpowiednio,  $R$  i  $R + 2d$ , a więc:

$$l_0(1 + \alpha_1 \Delta T) = R\varphi$$

oraz

$$l_0(1 + \alpha_2 \Delta T) = (R + 2d)\varphi.$$

Równania te spełniają:

$$\varphi = \frac{l_0(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T}{2d}$$

oraz

$$R + 2d = \frac{2d(1 + \alpha_2 \Delta T)}{(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T}.$$

Przesunięcie końca płytki wynosi

$$h = (R + 2d)(1 - \cos \varphi) / \cos \varphi.$$

Ostatecznie:

$$h = \frac{2d(1 + \alpha_2 \Delta T)(1 - \cos \varphi)}{(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T \cos \varphi} \approx \frac{(1 + \alpha_2 \Delta T)(\alpha_2 - \alpha_1)l_0^2}{2d},$$

gdzie ze względu na bardzo małą wartość kąta  $\varphi$ , dla otrzymania przybliżonej równości zastosowano przybliżenie  $\cos \varphi \approx 1 - \varphi^2/2$ . Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy  $h \approx 8$  mm.

- [1] P. W. Gorham *et al.*, *New Limits on the Ultra-high Energy Cosmic Neutrino Flux from the ANITA Experiment*, Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 051103
- [2] P. W. Gorham *et al.*, *Observation of an Unusual Upward-going Cosmic-ray-like Event in the Third Flight of ANITA*, Phys. Rev. Lett. **121** (2018) 161102
- [3] L. A. Anchordoqui *et al.*, *The pros and cons of beyond standard model interpretations of ANITA events*, arXiv:1907.06308