



Dr Jan KRÓLIKOWSKI

Fizyka wysokich energii ostatnich lat to przede wszystkim badanie własności najniższego znanego nam poziomu struktury materii — kwarków i leptonów — oraz ich oddziaływań. Jednym z oddziaływań między tymi „elementarnymi” obiektami jest oddziaływanie słabe, to samo, które powoduje promieniotwórczy rozpad β .

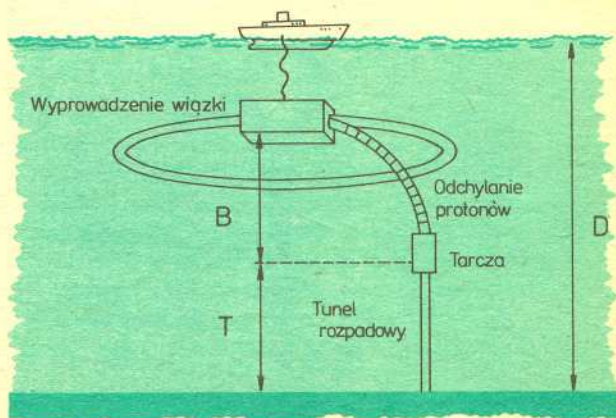
Wśród „elementarnych” leptonów istnieją takie, które oddziałują wyłącznie słabo — są to neutrina; cząstki te, według naszej najlepszej wiedzy, są bezmasowe i, jak sądzimy, nie mają struktury wewnętrznej. W ciągu ostatniego dziesięciolecia fizycy posługiwali się często neutrinami jako bardzo wygodnymi sondami do badania struktury wewnętrznej bardziej skomplikowanych tworów — protonów i jąder atomowych. Neutrino jako punktowe pociski nie zaburzały struktury bardziej skomplikowanych obiektów. Gdyby nie trudności w ich detekcji, byłyby idealnymi sondami w mikroświecie.

Czterej wybitni fizycy wysokich energii: A. de Rujula, S. L. Glashow, R. R. Wilson i G. Charpak zaproponowali w 1983 roku zastosowanie neutrino do zupełnie odmiennych badań — do badania budowy wewnętrznej Ziemi oraz do poszukiwań geologicznych — głównie ropy naftowej lub rud ciężkich metali (np. uranu). Tę propozycję, nazwaną przez autorów Tomografią Kuli Ziemskiej (TKZ), zamierzam przedstawić. Jest to pomysł z gatunku bardzo odważnych, a może nieco zwariowanych, choć reputacja naukowa autorów stawia ich niemal poza podejrzeniami. Ich pomysł opiera się na tym samym fakcie, który był wykorzystywany w badaniach w mikroświecie — na niezwykle słabych oddziaływaniach neutrino. Wiązka neutrino, wytworzona w akceleratorze, jest w stanie przeniknąć przez kulę ziemską niemal bez strat. Z drugiej strony straty neutrino to oddziaływanie z materią wnętrza Ziemi; nie mogą być zbyt małe, gdyż wtedy nie można by otrzymać informacji o strukturze tego wnętrza. Na szczęście oddziaływania neutrino wzrastają z ich energią, tak więc dysponując wiązką neutrino dostatecznie wysokiej energii możemy być pewni, że ich znacząca część będzie oddziaływała we wnętrzu Ziemi. Autorzy doszli do wniosku, że akcelerator przyspieszający protony do energii 10 TeV jest technicznie realizowalny i zupełnie wystarczający dla tych celów. Akcelerator ten został nazwany Geotronem. Wykonany za pomocą tradycyjnej technologii taki akcelerator miałby średnicę około 20 km, a jego koszt wyniósłby około 3 miliardów dolarów. Użycie najnowszej techniki jak np. nowoczesnych magnesów nadprzewodzących zmniejszyłoby wymiary i koszt Geotronu mniej więcej trzykrotnie, a okres budowy wyniósłby około trzech lat. Ze względu na przeznaczenie najlepiej byłoby zbudować Geotron ruchomy, więc np. pływający. Konstrukcja akceleratora około 40 m pod wodą uczyniłaby go niewrażliwym na fale. Rura próżniowa i magnesy mogłyby zostać zakotwiczone za pomocą kabli stalowych, prawdopodobnie z dokładnością do kilku centymetrów. Nie wystarcza to jednak dla 10 TeV synchrotronu, gdzie wymagana dokładność wzajemnego ustawienia magnesów wynosi kilkaset mikrometrów. Taki pływający Geotron powinien mieć automatyczny system korekcji prądów w magnesach, który wyczuwałby położenie wiązki w jednym magnecie i automatycznie sterował nią w środek następnego. Technicznie taki system jest już możliwy do zbudowania.

A. de Rujula i S. L. Glashow to wybitni fizycy teoretycy — S. L. Glashow otrzymał w 1979 roku Nagrodę Nobla — R. R. Wilson jest światowej sławy specjalistą od budowy akceleratorów, wieloletnim dyrektorem Laboratorium im. Enrico Fermiego koło Chicago, a G. Charpak to światowy autorytet w dziedzinie konstrukcji detektorów cząstek wysokich energii. Projekt został opublikowany w renomowanym czasopiśmie naukowym „Physics Reports” (dokładny odsyłacz: A. de Rujula et al. *Phys. Rep. C99*, no. 6, (1983, 343)).

Największy istniejący akcelerator przyspiesza protony do energii 0,8 TeV. Jest to tak zwany Tevatron w Laboratorium im. E. Fermiego koło Chicago (USA).

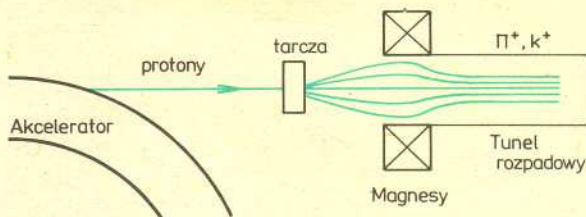
Rozwiązanie zadania M 419. Rozważmy 10 prostych równoległych do boków kwadratu i dzielących go na 36 kwadratów 1×1 . Każda z tych prostych dzieli kwadrat na dwa prostokąty zawierające parzyste liczby kwadratów 1×1 . Ponieważ kostki domina leżące całkowicie po jednej, ustalonej stronie tej prostej, zapelniają parzystą liczbę małych kwadratów, prosta ta musi przecinać parzystą liczbę kostek. Każda kostka jest przecinana przez dokładnie jedną prostą, a więc istnieje prosta nie przecinająca żadnej kostki ($2 \cdot 10 > 18$). Prosta ta wyznacza podział kwadratu na dwa mniejsze prostokąty ułożone z kostek.



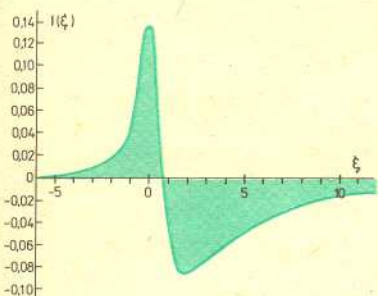
Pływający Geotron



Konstrukcja wiązki neutrinowej wymaga wyprowadzenia wiązki protonów z synchrotronu. Wiązka ta powinna być skierowana w stronę, w której chcemy prowadzić badania — w przypadku Geotronu w dół (wiązka neutronów nachylona pod kątem $4,5^\circ$ względem powierzchni Ziemi wychodzi z niej 1000 km od miejsca zagłębienia). Protony kierowane są na specjalną tarczę z ciężkiego materiału. Na jądrach tarczy produkują się wtórne cząstki — mezony π^+ i K^\pm , które ogniskujemy za pomocą specjalnych magnesów w taki sposób, żeby wpadły do tunelu rozpadowego. Mezony rozpadają się w tunelu (w locie) produkując neutrino np. według schematu: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \bar{\nu}_\mu$. Wiązka neutronów skierowana jest wzdłuż osi tunelu rozpadowego.



Autorzy oszacowali wymaganą długość tunelu dla 10 TeV akceleratora na 7,5 km, a średnią energię neutronów na około 0,5 TeV. Ekstrapolując dane uzyskane przy istniejących wiązkach neutronów o niższych energiach można spodziewać się, że neutrino z Geotronu będą powodowały około 100 oddziaływań na 1 cm drogi wewnątrz Ziemi, a średnia strata energii wyniesie około 200 erg/cm. Można spodziewać się, że oddziaływania neutronów wzdłuż wiązki spowodują powstawanie fal dźwiękowych o częstotliwościach około 100 Hz mierzalnych na powierzchni za pomocą układu specjalnych mikrofonów (geofonów). Neutrino przechodzące przez wodę wysyłają fale dźwiękowe o bardzo charakterystycznym bipolarnym przebiegu czasowym. Gdyby było to prawdziwe również w ośrodkach stałych, metoda posługująca się wiązkami neutronów stałaby się jeszcze wygodniejsza w użyciu, gdyż charakterystyczne sygnały bipolarnie łatwo odróżnić od innych drgań sejsmicznych. Autorzy proponują prowadzenie badań przy użyciu dostępnych wiązek neutronów o niższych energiach, na przykład za pomocą wiązki neutronów z istniejącego akceleratora Tevatron w Laboratorium im. E. Fermiego koło Chicago.



Sygnal dźwiękowy powstający przy przechodzeniu neutronów przez wodę.

Drugim sposobem detekcji neutronów jest badanie mionów powstających w oddziaływaniach neutronów z materią ziemską: $\nu + A \rightarrow \mu^- + \text{coś}$. Właśnie badania tego typu reakcji służyły do precyzyjnych pomiarów struktury protonów i jąder atomowych, o czym wspominałem na początku artykułu. W przypadku TKZ interesowałby nas raczej strumień mionów opuszczających wnętrze Ziemi. Większość tych mionów pochodziłaby z oddziaływań neutronów na ostatnich kilkuset metrach ich drogi wewnątrz Ziemi. Autorzy TKZ dokonali obliczeń oczekiwanego strumienia mionów, przy założeniu jednorodnego rozłożenia materii na wspomnianych kilkuset metrach. Dla 10 TeV Geotronu i wiązki neutronów zagłębiającej się pod kątem $4,5^\circ$ spodziewamy się około 5000 mionów/($\text{m}^2 \cdot \text{puls Geotronu}$). Zmniejszenie tej liczby może świadczyć o występowaniu złóż ciężkich substancji — np. rud metali.

Wiązka neutronów przydatna do zastosowania powinna mieć małą rozbieżność kątową, gdyż tylko wtedy można by posługiwać się nią dla poszukiwań bogactw mineralnych. Oszacowano, że wiązka z omawianego Geotronu będzie miała średnicę około 11 m po przejściu 1000 km pod ziemią.

O ile projekt Geotronu i związanej z nim wiązki neutronów są dobrze ugruntowane i opierają się na pewnych podstawach, o tyle druga część projektu TKZ, tj. detekcja wiązki przechodzącej przez Ziemię i wyciąganie informacji na temat struktury wnętrza Ziemi wydają się dużo mniej pewne.

Jakie wnioski można wysnuć na temat projektu TKZ?

Po pierwsze, jest to projekt możliwy do zrealizowania, nawet w ambitnej wersji pływającego Geotronu, ale jest to projekt drogi. Sam Geotron będzie kosztował kilka miliardów dolarów. Konstrukcja i eksploatacja urządzeń do akustycznego badania wnętrza Ziemi też jest droga, prawdopodobnie zbyt droga w stosunku do obecnej ceny ropy naftowej. Warto sobie jednak zdać sprawę, że ta metoda może być stosowana do poszukiwań na stosunkowo dużych głębokościach, rzędu 20-30 km, gdzie tradycyjne wiercenia są bardzo trudne i niezwykle kosztowne. Może więc stać się opłacalna za kilkanaście lat, po wyczerpaniu się płytszych i łatwiej dostępnych złóż ropy.

Po drugie, autorzy TKZ są przekonani o sensowności dalszych badań przygotowawczych w dziedzinie TKZ, jak np. badań z zastosowaniem Tevatronu. Sądzę, że w bogatym programie doświadczalnym tego amerykańskiego akceleratora znajdzie się trochę czasu na nieortodoksyjne badania TKZ.



Rozwiązanie zadania M 420. Niech P i Q będą środkami krawędzi AB i CD — odpowiednio, O niech będzie środkiem ciężkości czworokąta $ABCD$, a N — punktem symetrycznym do M względem O . Punkty P i Q są symetryczne względem O , a więc prosta QM jest równoległa do prostej PN . Płaszczyzna zawierająca AB i równoległa do QM przechodzi przez punkt N . Podobnie można wykazać, że punkt N należy do pozostałych pięciu rozważanych płaszczyzn.