

*Sławomir Prochocki*  
*info@devro.pl*

## *Współczynnik załamania przestrzeni międzygwiazdnej*

W 1987 roku zarejestrowano w Wielkim Obłoku Magellana wybuch supernowej. Od 400 lat była to pierwsza supernowa, którą widać było nieuzbrojonym okiem. Ale była to także gwiazda wyjątkowa z innej przyczyny. Odległa od nas o 167 tys lat świetlnych eksplozja wysłała w przestrzeń strumień cząstek elementarnych, w tym fotonów i neutrin. Obie te fale zostały zarejestrowane przez detektory na Ziemi. Nie byłoby w tym nic dziwnego, gdyby nie fakt, że neutrina pochodzące z tej gwiazdy przybyły do nas 3 godziny wcześniej niż fotony. Do dzisiaj trwają dyskusje na temat, dlaczego tak się stało. Karkołomne konstrukcje, tłumaczące zadziwiający fakt prześcignięcia w dalekosiężnym wyścigu zdaje się, niezwykłych fotonów przez niepozorne neutrina, nie przekonują mnie zupełnie. Eksplodująca otoczka gwiazdy wysłała ze swej rozszerzającej się powierzchni oba rodzaje cząstek w tym samym czasie. Dlaczego fotony dotarły do nas po neutrinach? To pytanie nabiera zupełnie nowego kontekstu w świetle doświadczenia OPERA, w którym neutrina podróżują przez skały skorupy ziemskiej szybciej niż światło w próżni. Dlaczego tak się dzieje? Postaram się odpowiedzieć na pytanie dotyczące wyścigu z supernowej.

Czym jest próżnia? Każdy fizyk odpowie prosto – to przestrzeń pozbawiona cząstek elementarnych, atomów, po prostu pusta przestrzeń. Jeżeli więc, mając powiedzmy, litr pustej przestrzeni, izolowanej od promieniowania kosmicznego, zamkniętej w cudownej butelce, wpuścimy tam jeden – słownie jeden atom wodoru - czy nadal mamy próżnię w butelce? Czy może już bardzo rozrzedzony gaz?

Dołożymy drugi atom. Potem trzeci. W końcu w butelce będzie pełno atomów wodoru. Wtedy nie będzie już wątpliwości. Mamy w butelce gaz. Kiedy próżnia stała się gazem? Odpowiedź jest prosta – od razu, po wpuszczeniu pierwszego atomu wodoru.

Próżnia doskonała nie istnieje. W przestrzeni kosmicznej pełno jest cząstek, fotonów, neutrin, elektronów, mezonów. Także protonów i atomów wodoru. Średnio milion na metr sześcienny. Daje to masę około 10(-18) grama/metr sześcienny. Niezbyt dużo. Ale nie zero.

Doszliśmy do wniosku, że przestrzeń kosmiczna to gaz. Bardzo rozrzedzony, ale gaz. I teraz pytanie zasadnicze – co odróżnia gaz od próżni? Tak, wiem, wiele rzeczy, ale jedna w tym przypadku gra bardzo istotną rolę – WSPÓŁCZYNNIK ZAŁAMANIA.

Czy fotony to cząstki czy fale? Dualizm korpuskularno-falowy stanowi do dzisiaj katastrofę dla naszej intuicji. Czy jedna i ta sama „rzecz” może być cząstka i falą? Nie tylko może, po prostu jest.

Foton to olbrzymie zaburzenie przestrzeni, o wielkości ponad 100 atomów. Foton ma olbrzymi przekrój czynny. Neutrina przenikają ziemię na wskroś, fotony nie zagłębiają się nawet na milimetr w głąb. Kwant energii zahacza sobą o wszystko, co napotka. Nawet przez bliskie sobie szczeliny przelatuje jednocześnie. Foton to gigant. Neutrino to karzeł.

Spowalnianie kwantów w środowisku materialnym jest spowodowana ich oddziaływaniem z atomami. Gdy kwant napotyka na swojej drodze atom, dzieje się z nim coś dziwnego. Spowalnia. I leci dalej. Jakby na moment wpadł w smołę. To jak często i jak bardzo zwalnia określa współczynnik załamania ośrodka. Ośrodka, który składa się z atomów.

Należy założyć, że współczynnik załamania ośrodka jest proporcjonalny do ilości atomów, z jakimi zderzy się foton. Kwant, będąc wielką fizycznie cząstką ( ok. 100 razy większą od atomu) spowalnia napotykając atom na swojej drodze. Ponieważ chodzi więc o tzw. gęstość liniową ośrodka, ( ilość atomów które napotyka kwant na linii swego lotu) jest ona proporcjonalna do pierwiastka trzeciego stopnia z gęstości przestrzennej, w przypadku przestrzeni kosmicznej to  $10^{-6}$  /m.

Wodór ma współczynnik załamania 1,00003 dla gęstości 90g/metr sześcienny, czyli 1,00003 dla 4,5/metr gęstości liniowej. Porównanie proporcjonalne tych dwóch wartości pozwala przypuszczać, że współczynnik załamania przestrzeni kosmicznej to mniej więcej 1,000000000001. Prawie 1. Ale tylko prawie.

Stosując znane prawo, które mówi, że prędkość światła w ośrodku do prędkości światła w próżni wyraża się stosunkiem  $1/\text{wsp. załamania ośrodka}$ , otrzymujemy, że spowolnienie wyniesie  $10^{-11}$ . Na drodze 167 tys lat świetlnych ( ok.  $10^{15}$  sekund) światło spowolni o około 10000 sekund. Czyli pi razy oko – 3 godziny. Przypadek?

Dlaczego nie spowolniły także neutrino? Odpowiedź jest banalnie prosta.

Atom właściwie składa się z próżni. Jeżeli jądro atomowe miałyby wielkość ziarna zielonego groszku to elektron, kuleczka wielkości czubka szpilki, krążyłby wokół niego w odległości kilometra. Neutrino, cząstki o niezwykle małym przekroju czynnym, prosto mówiąc bardzo małe, przelatują swobodnie przez atomy, nie spowalniając swego biegu. Jak leciały z prędkością światła, tak sobie lecą. A wielkie kwanty spowalniają na każdym napotkanym atomie. Dlatego to nie neutrino przyleciały z supernowej za szybko. To kwanty się spóźniły. Choć spóźnienie 3 godzin na dystansie  $1,5 * 10^{18}$  km to niewielka obsuwa. Czego naszemu PKP szczerze życzę.

Warszawa styczeń 2012