

Wyścig solitonów

W wyścigach, oprócz umiejętności, kondycji i taktyki, ważne są również efekty interakcji między zawodnikami. Przy czym niekoniecznie chodzi o to, któremu kolarzowi pompka pomoże wyjechać pierwszemu z bramy stadionu (anegdota ta jest starsza od autora i nie będzie tu przypomniana).

Pozostając przy kolarstwie: nawet laicy wiedzą, że łatwiej jest jechać za kimś. Z kolei amatorzy żeglarstwa orientują się, jak trudno jest przegonić podobną łódkę płynącą kursem ostrym, ze względu na zakłócany przez nią wiatr.

Zawody są organizowane na różnych dystansach. Ostatnio jest moda na bardzo długie wyścigi. Dystans z Maratonu do Aten na siedzących przed telewizorem w kapciach widzach nie robi już wrażenia. Ciekawe, co by powiedzieli o wyścigu o długości rzędu jednostki astronomicznej.

A właśnie o zabawę na takim dystansie chodzi. Medialnie akceptowalny czas trwania długodystansowego wyścigu jest jednak mierzony w kwadransach, ewentualnie w godzinach. A ponieważ podzielenie takiej odległości przez taki czas daje nam prędkość rzędu prędkości światła, więc nic dziwnego, że właśnie impulsy świetlne wzięły w nim udział [1].

Zawody zostały rozegrane na stadionie o obwodzie około stu metrów zbudowanym z pętli światłowodu telekomunikacyjnego, w którym podtrzymywana była fala nośna. Na niej wzbudzani byli zawodnicy – solitony utrzymujące swoją formę dzięki nieliniowej zależności współczynnika załamania od intensywności. Dzięki utrzymywanej fali nośnej zawodnicy pozostawali w formie przez okres rzędu pół godziny, przemierzając dystans porównywalny ze średnicą orbity Ziemi (solitony poruszały się z prędkością około $2c/3$). Ich podłużny rozmiar wynosił około pół mikrona.

Zawody miały charakter treningowy. Chodziło o sprawdzenie, czy drugi zawodnik (propagujący się za pierwszym) będzie go doganiał, czy raczej zostawał w tyle. Zjawiskiem odpowiedzialnym za interakcję jest zmiana współczynnika załamania światłowodu na skutek fali mechanicznej (dźwiękowej), generowanej przez pierwszy impuls, w wyniku zjawiska elektrostrykcji, czyli zmiany gęstości dielektryka pod wpływem pola elektrycznego. Dokładniej, chodziło o sprawdzenie, jak słaby sygnał jest w stanie wpłynąć na propagujący się jako drugi soliton, oraz czy teoretyczny opis zachodzącego zjawiska dobrze odtwarza obserwacje.

Zgodnie z przewidywaniami okazało się, że dla małych odległości drugi impuls jest hamowany, a dla większych przyspieszany. Graniczną, stabilną odległością (czasową) okazało się 420 pikosekund, czyli około 84 milimetrów. Przy czym tę stabilną odległość drugi soliton osiągał po kilkudziesięciu sekundach (szybciej ten spowalniany niż ten przyspieszany), czyli po przebyciu odległości rzędu 10 milionów kilometrów. Natomiast po przekroczeniu opóźnienia około 1500 pikosekund (577 tzw. połówkowych

szerokości solitonów, czyli około 30 centymetrów) drugi soliton zastawał w tyle, podwajając dystans w ciągu pół godziny.

Przy czym należy sobie zdawać sprawę, że zmiana prędkości drugiego solitonu jest rzeczywiście spowodowana propagowaniem się po zaburzonym przez pierwszy soliton torze. Drugi soliton porusza się względem pierwszego z prędkością rzędu centymetra na minutę, a oba pędzą dwieście tysięcy kilometrów na sekundę (czyli dwanaście milionów kilometrów na minutę). Stosunek wielu wielkości charakteryzujących to zjawisko jest rzędu biliona.

Przedstawione obserwacje są same w sobie ciekawe, ale można się zastanowić, jak sprawdzić, czy to rzeczywiście fala dźwiękowa jest odpowiedzialna za oddziaływanie solitonów. Oczekiwane różnice gęstości nią spowodowane są np. rzędy wielkości mniejsze od amplitudy niejednorodności światłowodu. Różnica jest taka, że jednorodności są rozłożone równomiernie po całym światłowodzie, a fala dźwiękowa ma swoje źródło. Używany światłowód miał płaszcz o grubości dwa razy większej od promienia rdzenia. Czas powrotu fali akustycznej do rdzenia (po odbiciu od brzegu światłowodu) został oszacowany na 21 nanosekund. Dlatego, jeżeli fala dźwiękowa jest odpowiedzialna za efekt, to powinien on występować również dla takiego właśnie opóźnienia. Oczekiwane jest, że będzie ono niestabilne, tzn. solitony będą z niego wypychane do stabilnego opóźnienia, które powinno znajdować się po obu stronach 21 nanosekund, w odległości (czasowej) około 1 nanosekundy. Badanie takie przeprowadzono i uzyskano wynik zgodny z przewidywaniami.

Autorzy zwracają jeszcze uwagę na różnice między wynikami obliczeń oraz pomiarami. Np. przewidywana (minimalna) stabilna odległość solitonów to około 500 ps zamiast zmierzonych 420 ps. Przypominają jednak, że za pomocą używanego modelu zazwyczaj otrzymuje się wartości różniące się od mierzonych. Otrzymane wyniki są bardzo precyzyjne i były możliwe do uzyskania dzięki bardzo długiemu okresowi utrzymywania się solitonów w pętli światłowodowej, dzięki podtrzymywaniu odpowiednio dostrojonej fali nośnej. Zostaną wykorzystane do poprawiania modelu. Zaobserwowany efekt może wyjaśniać wiele nie w pełni wyjaśnionych zjawisk związanych z przesyłaniem sygnałów przez światłowody.

Przy okazji po raz kolejny uzyskano potwierdzenie nadzwyczajnej stabilności solitonów oraz zaobserwowano najslabsze, jak dotąd, oddziaływanie między nimi.

A wracając do początkowej analogii: wykazano nietrywialny wpływ wyzwalanego przez zawody hałasu na ich przebieg.

Piotr ZALEWSKI

[1] J.K. Jang, M. Erkintalo, S.G. Murdoch, S. Coen, *Ultraweak long-range interactions of solitons observed over astronomical distances*, Nature Photonics (2013), doi:10.1038/nphoton.2013.157.