

Brzmienie wszechświata - jak uczeń

1 LO mierzy fale grawitacyjne

Polak, fizyk, astronom uczestniczący w projekcie LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory). Placówka, w której pracuje Marek Szczepańczyk pomaga w ogólnoswiatowym przedsięwzięciu, mającym na celu doświadczalne przetestowanie ogólnej teorii względności opisanej na początku XX wieku przez Alberta Einsteina, poprzez detekcję fal grawitacyjnych.



Plakietka robocza Pana Marka podpisana przez noblistę - Kip Thorn - "Proszę znaleźć dla mnie fale grawitacyjne" 14 marca 2015 r., pół roku przed samym odkryciem.

1. Czym jest fala grawitacyjna?

- "Fala grawitacyjna jest to zaburzenie czasoprzestrzeni. Najlepiej to sobie wyobrazić poprzez analogię do spokojnej tafli wody, w którą wrzucony zostanie kamień. Tafla wody reprezentuje przestrzeń pomiędzy galaktykami.
W kosmosie, zjawiska energetyczne takie jak zderzenia czarnych dziur, powodują rozchodzenie się fal w każdym kierunku. Inaczej mówiąc jest to odkształcenie czasoprzestrzeni."

2. Kto jest twórcą teorii fal grawitacyjnych?

- "Teoria fal grawitacyjnych jest częścią ogólnej teorii względności i jej twórcą jest sam Albert Einstein. Pod koniec XIX wieku, Maxwell odkrył równania poprawnie opisujące pola elektryczne i magnetyczne, równania korzystają z czwartego wymiaru. Na początku XX wieku pojawiały się rozważania nad czwartym wymiarem, co możemy wyraźnie zaobserwować nawet w sztuce tamtego okresu (np. w dziełach Picassa).
W ogólnej teorii względności z 1915 roku Einstein zasugerował, że czwartym wymiarem jest czas. Od tego momentu stała się to najwłaściwsza interpretacja. "

3. Kiedy pojawiły się pierwsze teorie na temat zjawiska, którym się Pan zajmuje, czego potrzeba, aby je wykryć, zrozumieć oraz zbadać?

- “W 1916 roku powstało najprostsze rozwiązanie falowe równań Einsteina, co dało początek teoretycznym rozważaniom nad falami grawitacyjnymi. Przez pół wieku naukowcy zastanawiali się, czy takie rozwiązanie jest prawidłowe oraz, czy taka fala niesie energię (warunek istnienia). W latach 50. udało się to udowodnić, po czym kolejne pół wieku opierało się na próbach wykrycia tych fal. Droga od strony teoretycznej do strony praktycznej i ich wykrycia to mniej więcej 100 lat (dokładnie 100 lat po opublikowaniu przez Einsteina równań ogólnej teorii względności udało się zarejestrować fale grawitacyjną).
Jakie mogą być źródła tych fal? Zderzające się czarne dziury, bądź masywne gwiazdy, wybuchy gwiazd, struny, fale ciągłe z rotujących gwiazd, bądź trzęsienia gwiezdne. Moja praca pozwala mi zajmować się tematem zderzających się czarnych dziur jak i wybuchających gwiazd, inaczej zwanych supernowych.”

4. Jak wygląda Pana codzienna rutyna, jest Pan w stanie opuścić miejsce pracy również umysłem, czy jest to jednak zajęcie pochłaniające w pełni?

- “W nauce nie ma uregulowanego czasu pracy. W moim przypadku przeważnie pracuje od rana do południa , 9-17. Czasami ma się telekonferencję o 6 rano, czasami o północy, czasami się pracuje do pierwszej, drugiej, trzeciej, zależy, co trzeba zrobić.
Cały czas pracowałem zdalnie, pandemia tego nie zmieniła.
Rozdzielenie pracy oraz czasu wolnego zależy od tematu, nad którym się pracuje, jeśli robi się coś ciekawego, pozostaje to w głowie cały czas, nawet podczas spania.”

5. Czy LIGO jest pojedynczą instalacją, czy tylko jedną z części. Jeśli tylko częścią to, czym się od siebie różnią?

- “LIGO to dwa detektory oddalone o kilka tysięcy kilometrów. Jest również trzeci detektor, mniej czuły, znajdujący się we Włoszech (VIRGO) oraz czwarty detektor w Japonii, który jest dalej w budowie, ale już rozpoczął nasłuchiwanie.
Wielość detektorów jest potrzebna, aby określić kierunek oraz odległość zaobserwowanego zjawiska. Poza tym są tak czułe, że wykrywają codzienne zjawiska takie jak ruch drogowy, pioruny, bądź nawet testy broni wybuchowej.. Dlatego potrzebna jest cała sieć, aby być w stanie odfiltrować szumy z Ziemi.”

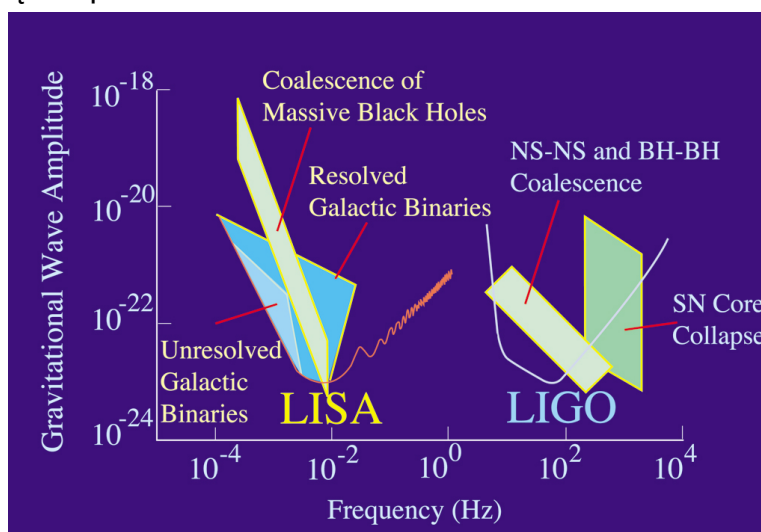
6. Ile podobnych obiektów aktualnie istnieje, lub jest w budowie?

- “Istnieją trzy wcześniej wspomniane działające detektory które już nasłuchują (układ LIGO oraz VIRGO), kolejny detektor jest budowany w Japonii, następny w Indiach, Australii, jednakże na detektor w Australii brakuje jeszcze funduszy.

Możemy powiedzieć że za 5, 10 lat w sieci będzie pięć działających detektorów o podobnej czułości. Kolejnym krokiem jest zbudowanie detektorów dziesięć razy czulszych, plan na kolejne około 30 lat.”

7. Czy pracując w LIGO miał Pan styczność z projektem LISA (Laser Interferometer Space Antenna)?

- “Dzięki bliskości detektorów na Ziemi możemy je bezproblemowo konserwować, serwisować i naprawiać. Aby wysłać tego typu urządzenie w kosmos, wszystko musi być dokładnie przetestowane oraz niezawodne, pomijając już sam koszt wyniesienia na orbitę. Sam projekt LISA jest opóźniony z 20, 30 lat. Mamy nadzieję, że za 10, 20 lat ten detektor pojawi się na orbicie. Detektor w przestrzeni kosmicznej będzie wykrywał inne spektrum fal, dzięki czemu cała sieć będzie się uzupełniać.”



8. Czy jesteśmy w stanie przynajmniej w teorii wykryć za pomocą tych urządzeń coś więcej poza zakłóceniami z Ziemi oraz masywnymi zderzeniami czarnych dziur (takie jak zapisy z 14 września 2015)

- “Aktualna czułość pozwala na regularne wykrywanie fal grawitacyjnych ze zderzających się czarnych dziur i masywnych gwiazd. Aby wykryć fale grawitacyjne z wybuchającej gwiazdy, niestety te fale są dużo słabsze, taka gwiazda musiałaby wybuchnąć stosunkowo blisko (np. w naszej galaktyce - Drodze Mlecznej). Bardzo szybko obracające się gwiazdy również wywołują fale grawitacyjne, ale do tej pory nie udało się ich zaobserwować. Zaskoczeniem była ilość zderzających się ze sobą czarnych dziur takich jak zaobserwowane w 2015 roku.”

9. **W jednym z nagrań była zaprezentowana Pana ciekawa opowieść na temat przyjęć w will noblisty Kipa Thorna, inaczej żartobliwie określona jako “Ultimate Physicist Party”. Miał Pan przyjemność w niej uczestniczyć, a jeśli tak to, co najbardziej zapadło Panu w pamięć?**
- “Na początku doktoratu miałem praktyki na uniwersytecie Caltech (California Institute of Technology), szkoła o podobnej renomie do MIT, bądź Harvardu. Pracuje tam Kip Thorne, aktualnie już jest emerytem, organizuje w swojej willi imprezy tylko dla fizyków zajmujących się grawitacją i falami grawitacyjnymi, pracującymi w okolicy, bądź uczącymi się w Caltechu. Pewnego dnia zostałem poinformowany przez znajomych, *“Jesteś tutaj? Wpadaj”*. Było tam bardzo dużo ludzi, profesorów, ciekawym osób, basen, różne malowidła, świetna willa. Można było tam znaleźć wszystkich fizyków zajmujących się dziedziną, a sam Kip organizuje takie przyjęcia dwa razy do roku. Miałem nawet przyjemność porozmawiać z samym noblistą. Mało kto o tym wie, wyłącznie osoby zajmujące się tą dziedziną, a jeszcze mniejsza grupa ma szansę w tym uczestniczyć. Kip Thorne dostał nagrodę nobla w 2017 roku, razem z innymi fizykami za odkrycie fal grawitacyjnych, pracuje on również dużo w Hollywood.”
10. **Jak zachęciłby Pan młodsze pokolenia do zainteresowania się fizyką, od czego uczniowie powinni zacząć?**
- “Na początek znajdź swoje marzenie i do niego dąż. Każdy powinien znaleźć swój talent, to co pasjonuje i w tę stronę dążyć. Jeżeli ktoś uwielbia nauki podstawowe, powinien spróbować tego kierunku.
Mnie zawsze fascynowała grawitacja i w tę stronę mniej lub bardziej świadomie dążyłem. Jak byłem na licencji i magisterce to jeszcze praktycznie nie istniała dziedzina obserwowania fal grawitacyjnych. Dopiero budowano detektory, a same fale jeszcze nie były odkryte. Miałem wielkie szczęście, ponieważ podczas mojego doktoratu było pierwsze odkrycie fal.”
11. **Co zainspirowało Pana i sprawiło, że zajął się Pan fizyką sama w sobie, jak również wąszszym tematem fal grawitacyjnych. Ma Pan jakieś porady, lub wskazówki dla młodych uczniów oraz studentów?**
- Kiedy byłem na licencji, magisterce, szukałem czegoś związanego z grawitacją, ale bardziej praktycznego, nie tylko rozwiązywania równań i matematyczne obliczenia. Chciałem się skupić na pomiarach, a nie samych w sobie równaniach. Poszedłem na doktorat fal grawitacyjnych, co okazało się strzałem w dziesiątkę.
Uczniowie chodząc do liceum zastanawiają się, co takiego zrobić i w jaką stronę pójść. Jest to trudne pytanie wymagające czasu. Ja zawsze chciałem iść w stronę fizyki, grawitacji, fundamentalnych

rzeczy, więc było to dla mnie całkiem naturalne, myślałem również o inżynierii, ale nie pociągały mnie same zastosowania, wolałem zrozumieć przyrodę na fundamentalnym poziomie.

Na doktoracie udało mi się znaleźć dziedzinę, która nie istniała, kiedy byłem uczniem, ani będąc na studiach. Powstała dopiero, kiedy robiłem już doktorat, pracuję więc i planuję pozostać w dziedzinie fal grawitacyjnych. Wcześniej szukałem czegoś na ślepo, nie wiedziałem dokładnie czego i w którą stronę iść, wiedziałem jedynie, że dążę w stronę grawitacji i eksperymentu. Dopiero teraz widzę, że była to właściwa ścieżka, widzę, że intuicja pokierowała mnie w dobrym kierunku,

Wracając do uczniów i studentów, niektórzy dokładnie wiedzą, w którą stronę chcą iść, ale duża część myśli, co ze sobą zrobić, to wszystko wymaga czasu, próbowania, jednej, bądź drugiej dziedziny. Jeśli dokładnie nie wiemy, co chcemy robić, to powinniśmy posłuchać intuicji i spróbować pójść w stronę związaną z naszymi zainteresowaniami. Czasem zmienimy zdanie po 2, 3 latach i dopiero po pewnym czasie będziemy wiedzieć, czym chcemy się zająć. Moja największą wskazówką brzmi, aby zrozumieć siebie i swoją pasję, a następnie za nią podążać, może nawet dziedzina, w której chcecie się spełniać jeszcze nie istnieje.

Fizyka jest fascynująca, ale też jest to ciężki kawałek, wymaga czasem ogromnego poświęcenia. Wspaniale to brzmi, aby odkrywać rzeczy, których nikt nigdy nie odkrył, proces może być czasami fascynujący, ale czasem nudny i wyboisty, że wielu ludzi traci serce, więc jeżeli ktoś chciałby się zajmować taką fizyką fundamentalną to jest to długi proces, który wymaga samozaparcia i jeżeli to kogoś głębiej nie fascynuje, to powinien dokładnie rozważyć, czy w tę stronę iść. Mógłbym porównać tę drogę do sztuki, lub sportu. Dla mnie jest to przygoda, zachęcam, aby spróbować.

Moja największa rada brzmi, aby zrozumieć siebie oraz to, o czym się marzy. Jeżeli ktoś myśli o naukach podstawowych to spróbować, postudiować rok dwa i rozeznaczyć się, czy to moja droga, szukać i próbować.

Przed rozpoczęciem studiów, łąpałem studentów fizyki i pytałem, jak naprawdę jest w miejscu, gdzie chciałem studiować, zamiast opierać się na samych materiałach promocyjnych.

Wiele ludzi pracuje nad naukami podstawowymi z nadzieją, że na ich pracy będą się opierać przyszłe pokolenia (nie tak jak w standardowej pracy) oraz dla szansy, że się odkryje coś, jako pierwsza osoba z gatunku ludzkiego, jest to jedna z nagród za ciężką pracę. Udało mi się już tego doświadczyć i jest to fenomenalne uczucie, które jest doprawdy unikalnie.

12. Jak trafił Pan do USA i zaczął pracować nad oddziaływaniem grawitacyjnym oraz projektem LIGO. Co było pierwsze?

- “Podczas pracy magisterskiej szukałem czegoś związanego z grawitacją eksperymentalną, podczas wigilii wydziałowej na wydziale fizyki UW znajoma wspomniała mi o falach grawitacyjnych. Akurat wyjeżdżałem na praktyki za granicę i okazało się, że jest tam grupa która się tym zajmuje. Po rocznym pobycie w Amsterdamie, wróciłem aby obronić pracę magisterską. Następnie dostałem wiadomość o możliwości zrobienia doktoratu w Stanach.

Nie było wtedy jeszcze wiadome, czy fale istnieją i czy jest to dobry kierunek. W tym okresie spróbowałem sił na politechnice.

Zrezygnowałem po dwóch tygodniach i zrozumiałem, że to nie moja dziedzina. Dzięki praktykom w Amsterdamie, przy detektorze VIRGO, zostałem przyjęty na doktorat i poleciałem do Arizony. Nawet dodam, że na początku doktoratu pracowałem z oprogramowaniem, które później dokonało przełomu wykrywając pierwszą falę grawitacyjną. Niesamowite, że moja intuicja skierowała mnie w miejsce, gdzie poprzez staranne planowanie nie mógłbym trafić.”

13. W jakich technologiach, jeśli takie są, pomógł rozwój fal grawitacyjnych, w jakich jeszcze widzi Pan zastosowanie dla tych badań.

- “To jest pytanie, które wiele osób zadaje, wykrywamy super rzeczy, ale po co? Na razie chcemy zrozumieć, jak wygląda wszechświat, zwykła ludzka ciekawość. Na razie nie ma konkretnego zastosowania praktycznego, ale jeśli chodzi o nauki podstawowe, zastosowanie zawsze powstanie. Ciekawym, lecz odległym pomysłem, jest szukanie za pomocą fal grawitacyjnych form pozaziemskiego życia, bądź samemu wysyłanie takich sygnałów, mając nadzieję na odbiór wiadomości przez zaawansowaną technologicznie cywilizację.

Wiele części detektora ma zastosowanie już teraz, bardzo dokładne mierzenie wiązki laserowej, stabilizatory, jednakże nasze instrumenty są dużo dokładniejsze niż wymagane w codziennym życiu, czy nawet w wojsku. Na praktykach przy jednym z detektorów LIGO pracowałem przy precyzyjnym pomiarze natężenia lasera. Mierząc natężenie prądu możemy osiągnąć dokładność tysięcznej procenta, natomiast przy mierzeniu światła jest to bardzo skomplikowane, dokładność do kilku procent jest już bardzo precyzyjna, natomiast my w naszych detektorach chcemy osiągnąć jeszcze większą dokładność. Pracownicy z narodowych agencji ustalających standardy na instrumenty służące do dokładnych pomiarów, nawet uczą się od nas w jaki sposób udoskonalić ich standardy pomiarowe.

Innym przykładem zastosowania naszych badań jest budowa luster, które w naszym przypadku służą do odbijania lasera, są tak wielkie, że musimy tworzyć oddzielną technologię aby działały.

Innym jeszcze zastosowaniem jest wcześniej wspomniana sejsmometria. Tworzenie modeli, w jaki sposób Ziemia wibruje oraz monitorowanie Ziemi globalnie i lokalnie po to, aby móc przewidzieć, w jaki sposób detektor zostanie zakłócony i jak te zakłócenia obniżyć. Przykładem jest Japonia, gdzie narodowa agencja podpisała kontrakty z zespołem odpowiadającym za detektor fal grawitacyjnych po to, aby zrozumieć i przewidywać zjawiska takie jak tsunami.”

14. Na jakiej zasadzie rozchodzą się fale grawitacyjne, czy są podobne do fal elektromagnetycznych, takich jak światło, skoro mogą rozchodzić się w próżni. Dlaczego inne fale z naszego codziennego otoczenia, takie jak fale dźwiękowe, już nie?

- “Można znaleźć zarówno podobieństwa jak i różnice pomiędzy tymi falami.
 - Fala dźwiękowa do rozchodzenia się potrzebuje medium, substancji, w której ta fala przechodzi (w kosmosie, w próżni nie rozchodzi się dźwięk), na przykład powietrze.
 - Fale elektromagnetyczne to na przykład światło i jest to oscylujące naprzemiennie pole magnetyczne z polem elektrycznym. Taka fala nie potrzebuje medium jak dźwięk, aby się rozprzestrzeniać.
 - Fale grawitacyjne nie potrzebują materialnego medium, jest to oscylacja samej czasoprzestrzeni.
- Są to trzy różne fale, o różnych naturach, wszystkie są opisywane przez sinusy i cosinusy, używa się tych samych matematycznych narzędzi. Również do opisu fali na wodzie korzystamy z tych samych równań.”

15. Jeżeli Świat powstał na skutek Wielkiego Wybuchu, to co spowodowało Wielki Wybuch.

- “Jak powstało coś z niczego? Jest wiele teorii, ale nie wiemy, co było przed Wielkim Wybuchu, co działo się w jego trakcie, na ten moment nie mamy jednoznacznej odpowiedzi.”

16. Jaka jest Pana ulubiona analogia próbująca zobrazować dokładność interferometru “nasłuchującego” kosmos?

- “Dokładność tego odkształcenia przestrzeni jest jak mierzenie odległości do najbliższej gwiazdy (Proxima Centauri, 4 lata świetlne) z dokładnością do grubości ludzkiego włosa (0,02 mm do 0,4 mm)”

17. Na zakończenie pytanie filozoficzne. Po co nam to wszystko? Na co nam fale grawitacyjne, ile znaczą dla ludzi oraz nauki?

- “W tym momencie jest to czysta ciekawość ludzka, kiedyś dowiemy się, co z tym zrobić. Badamy nimi jak działa wszechświat, ale na pewno kiedyś znajdzie się zastosowanie.

Podobnym przykładem jest zastosowanie badań nad kwazarami w precyzyjnej nawigacji. Chcąc się dokładnie dowiedzieć, jak szybko zbliżają się i oddalają kontynenty, trzeba korzystać z satelitów okołoziemskich, które trzeba bardzo dokładnie zsynchronizować. Należy skorzystać z układu odniesienia, który jest niezmienny. Niestety wszystko we wszechświecie się porusza i znalezienie stałych punktów odniesienia jest trudne. Okazuje się, że do tak precyzyjnych pomiarów jak poruszanie się kontynentów należy użyć punktów odniesienia, jakim są kwazary z końca wszechświata. Kwazary to supermasywne czarne dziury emitujące ogromne ilości energii, które są już tak daleko, że ich ruch jest zaniedbywalny i pozwalają odpowiednio zsynchronizować satelity. Wniosek jest taki, że nawet takie pozornie nieprzydatne badania nad obiektami z końca wszechświata, mogą mieć bardzo ważne praktyczne zastosowanie.

**Wywiad przeprowadził
Cezary Pendras**