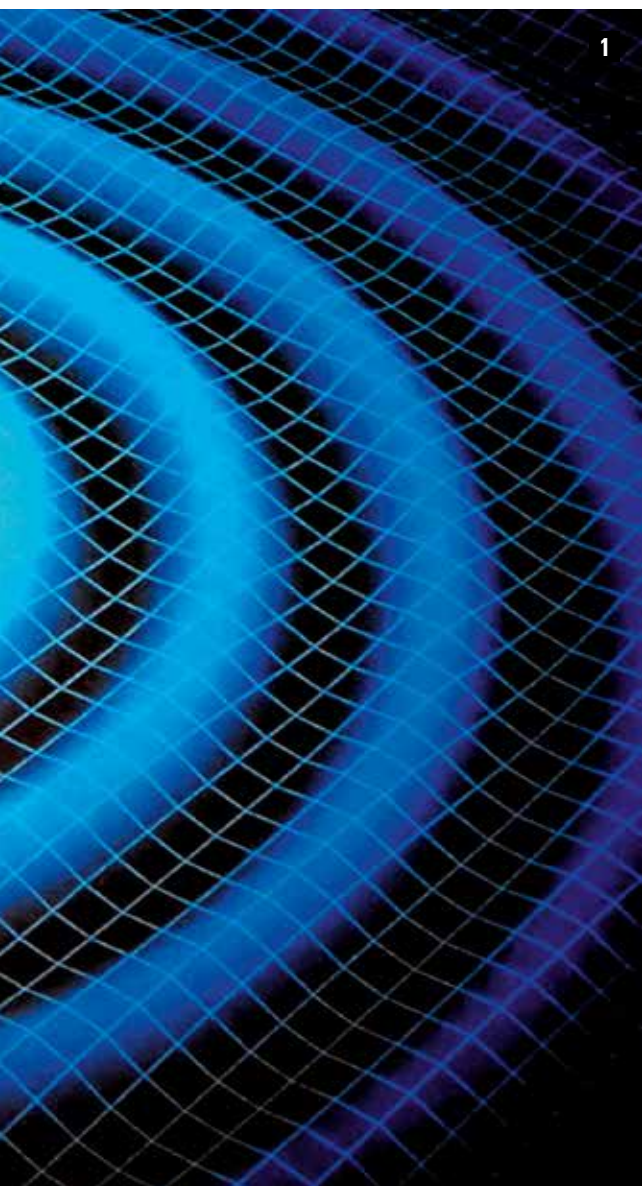


# EINSTEINA IGŁA W STOGU SIANA

**N**ikt nie oczekiwał, że w pierwszym dniu pracy detektorów LIGO wykryjemy sygnał fali grawitacyjnej – o odkryciu potwierdzającym ogólną teorię względności mówią **prof. dr hab. Andrzej Królak** z Instytutu Matematycznego PAN i **dr hab. Michał Bejger** z Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika PAN, członkowie grupy POLGRAW.

## ODKRYCIE FAL GRAWITACYJNYCH


**ACADEMIA: W lutym ogłosiliście odkrycie fal grawitacyjnych. Co się właściwie wydarzyło?**

ANDRZEJ KRÓLAK: 14 września ubiegłego roku dwa amerykańskie detektory LIGO zarejestrowały sygnał fali grawitacyjnej. Okazało się, że pochodził on ze złania się dwóch czarnych dziur o masach około 30 mas Słońca, które nastąpiło w odległości około miliarda lat świetlnych od Ziemi. Istnienie fal grawitacyjnych przewiduje ogólna teoria względności. Wcześniej mieliśmy pośrednie dowody na ich istnienie z obserwacji układów podwójnych pulsarów. Teraz dopiero zostały zmierzone za pomocą interferometrów laserowych LIGO, które mają niezwykle czułość. Potrafią zmierzyć odległość pomiędzy Słońcem a Ziemią z dokładnością do średnicy atomu wodoru.

**Osiągnięcie takiej dokładności to ogromne wyzwanie technologiczne?**

A.K.: Tak. Zarówno na etapie budowy urządzeń, jak i analizowania danych. Ponieważ sygnały są niezwykle słabe i głęboko schowane w szumie detektora, wydobycie ich wymagało rozwinięcia wyrafinowanych metod badawczych. Bezpośrednie prace nad zbudowaniem wystarczająco czułego urządzenia i opracowaniem wystarczająco dobrych metod analizy danych trwały 30 lat. Ale sama koncepcja budowy detektora ma już kilkudziesięcioletnią historię.

MICHAŁ BEJGER: Einstein ogłosił ogólną teorię względności w 1915 roku, a rok później pokazał, że dopuszcza ona rozwiązania falowe – zaburzenia odległości między zdarzeniami w czasoprzestrzeni, które zachowują się jak fale. Przez parę następnych dekad nie było pewności, czy fale są prawdziwym zjawiskiem fizycznym, czy jedynie niefizycznym rozwiązaniem teorii. Dopiero w 1957 roku Mister Smith, czyli Richard Feynman (inspirowany badaniami Hermana Bondiego i Feliksa Piraniego), przedstawił eksperyment myślowy, w którym pokazał, że gdy fala przechodzi przez kijek, na który nawleczony jest koralik, to koralik ten będzie się poruszał; jeśli koralik i kijek nie są idealnie gładkie, to ich względny ruch wywoła tarcie. Dojdzie do przekazania energii, co oznacza, że fala jest zjawiskiem, które przekazuje energię.

A.K.: Na przełomie lat 50. i 60. zaczęto badać teoretyczne równania Einsteina bardziej szczegółowo. Mówi się, że była wtedy taka wielka czwórka, która udowodniła, że równania Einsteina rzeczywiście dopuszczają promieniowanie grawitacyjne: Andrzej Trautman, Hermann Bondi, Felix Pirani i Rainer Sachs.

Po tych badaniach pojawiła się koncepcja wykrycia fal grawitacyjnych. Pionierem był Joseph Weber. Jego urządzenia to nie były detektory laserowe, tylko walce aluminiowe, w których przechodząca fala miała wzbudzić charakterystyczną częstość. Weber w latach 70. twierdził, że widzi jakiś sygnał, ale nikt inny nie potrafił tego potwierdzić mimo zbudowania wielu podobnych, nawet znacznie dokładniejszych, detektorów na całym świecie. Detektory – walce w zasadzie wyczerpały swój potencjał.

M.B.: Następnym ważnym krokiem była obserwacja układu podwójnego z pulsarem, odkrytego przez Russella Hulse'a i Josepha Taylora w 1974 roku. Układ się zacieśnia – w obserwacjach widać, że odległość między gwiazdami maleje, co oznacza, że układ traci energię. Naturalnym wyjaśnieniem tego zachowania jest emisja fal grawitacyjnych unoszących energię. Jest to silny, ale pośredni dowód na ich istnienie. Obecnie znamy już siedem układów, które zachowują się w ten sposób. W związku z tym pojawiła się dobra motywacja, żeby zbudować detektor do bezpośredniej rejestracji fali.

A.K.: Pionierami detektorów laserowych byli Brytyjczycy i Niemcy. Ich grupy eksperymentalne jako pierwsze złożyły podania o budowę interfero-

Fot. 1:  
Czarne dziury są w układzie podwójnym przez miliony lat, ale powoli się do siebie zbliżają przez emisję energii. W końcu dochodzi do ich zderzenia



Prof. Andrzej Królak jest liderem grupy POLGRAW. Profesor Instytutu Matematycznego PAN (od 2003) i Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Członek międzynarodowego zespołu VIRGO (VIRGO Collaboration) i jego Komitetu Sterującego; koordynator polskiego konsorcjum Projektu VIRGO. Współprzewodniczący LIGO Scientific Collaboration (LSC) i grupy roboczej VIRGO Collaboration Continuous Waves. Dwukrotny laureat prestiżowej nagrody II stopnia Fundacji Badań nad Grawitacją (Gravity Research Foundation, USA).

metrów. Niestety, nie zostały one zaakceptowane. Nie chodziło o ogromne sumy, ale fale grawitacyjne to było coś nowego, więc podawano w wątpliwość, czy da się je wykryć. W rezultacie te bardzo silne grupy niemieckie i brytyjskie w końcu zbudowały w Europie detektor o stosunkowo małej długości ramienia – 600 m, który raczej służył testom i rozwijaniu technologii. Tymczasem detektory LIGO – czyli te, które dokonały odkrycia fal grawitacyjnych – mają długość 4 km, a siostrzanego europejskiego projektu VIRGO – 3 km.

#### Jak powstają konsorcja zdolne do skutecznego budowania tak gigantycznych urządzeń?

A.K.: Koncepcja się rodzi w laboratoriach. Potem buduje się społeczność ludzi zainteresowanych projektem. Niezwykłą rolę odgrywają indywidualności, wokół których społeczności się gromadzą. Później projekt musi być spisany, stworzony, co wymaga wysiłku wielu osób. Trzeba na przykład oszacować koszt budowy detektora, żeby mieścił się w realistycznym budżecie. Trzeba ocenić technologiczne możliwości, przeprowadzić testy laboratoryjne. Potrzebni są dobrzy, doświadczeni menedżerowie. Mając już zespół i koncepcję, pisze się projekt. LIGO złożył go do amerykańskiej National Science Foundation. Przy takiej skali finansowania głosowanie nad nim odbyło się w Kongresie Stanów Zjednoczonych. Dobrze widziana była współpraca międzynarodowa, więc pamiętam, że pisałem list do Kongresu, mówiący, jaka to wspaniała rzecz i jak rozwinie technologię... Bo tu trzeba powiedzieć, że chodzi o znaczne środki jak na badania podstawowe, niezwiązane ściśle z zastosowaniami.

#### Jaki to rząd wielkości?

M.B.: Cały koszt projektu LIGO – budowa dwóch detektorów, badania i rozwój itd. – to około 600 mln dolarów przez ostatnie 25 lat. Tak naprawdę to nie jest jakoś strasznie dużo, biorąc pod uwagę niektóre pozycje w polskim budżecie. Gdybyśmy zatem mieli miliard złotych rozłożone na tyle lat, moglibyśmy zbudować taki detektor w Polsce.

#### Kto był inspiratorem projektu LIGO?

A.K.: Kilka osób. Jedną to prof. Kip Thorne – astrofizyk relatywista z Kalifornijskiego Instytutu Technologii, autor wielu prac na temat fal grawitacyjnych i czarnych dziur, który potrafił zmobilizować szerokie grono naukowców wokół tego projektu...

M.B.: ...i wykorzystać pieniądze z Hollywood na realistyczne symulacje dysku akrecyjnego wokół czarnej dziury w filmie „Interstellar” (reż. Christopher Nolan, 2014 – red.).

A.K.: Prof. Rainer Weiss z Instytutu Technologii Massachusetts, który był jedną z osób, które opracowały koncepcję detektora i wysunął pomysły na po-

– Zaczynałem od wykrywania sygnału fal grawitacyjnych na papierze, od tworzenia metod matematycznych. To było po prostu ciekawe – mówi **prof. Andrzej Królak**

prawienie jego czułości. Stawiam na tych dwóch uczonych jako może nawet kandydatów do Nagrody Nobla. Należy jeszcze wspomnieć o prof. Ronaldzie Dreverze z Caltechu, który wymyślił niezwykle ważną technikę poprawiania czułości detektora poprzez efektywne wzmacnianie mocy lasera. Drever w wyniku pewnych konfliktów odszedł dość wcześnie z projektu LIGO, ale jego wkład w zwiększenie mocy detektora około 10 razy jest bardzo istotny. W dziedzinie analizy danych z Kipem Thorne’em współdziałał prof. Bernard Schutz. Ja sam 30 lat temu dostałem stypendium podoktoranckie Bernarda Schutza, który był profesorem w Cardiff w Wielkiej Brytanii i od tego zaczęła się moja przygoda z falami grawitacyjnymi. Dzięki Schutzowi brałem udział w rozwijaniu metod analizy danych jako jeden z pierwszych.

#### LIGO zbudowano w Stanach Zjednoczonych.

##### A w Europie?

A.K.: We Francji i we Włoszech powstała społeczność zainteresowana w budowę detektora fal grawitacyjnych, którą reprezentowali m.in. Alain Brillet

## ODKRYCIE FAL GRAWITACYJNYCH

i Adalberto Giazotto. Wystąpili do agencji francusko-włoskich i dostali środki na budowę. Detektor VIRGO został zbudowany, nawiązano bardzo ścisłą współpracę z detektorem LIGO i teraz te dwa projekty tworzą jakby jeden duży projekt. Analiza danych jest prowadzona wspólnie i wszyscy członkowie obu projektów mają wyłączne prawo do tych danych.

**W którym momencie Polacy dołączyli do badań?**

A.K.: Po powrocie ze stypendium znalazłem współpracowników. Pierwszym był prof. Piotr Jaranowski. Zaczęliśmy rozwiązywać problemy teoretyczne dotyczące analizy danych i tego, jak detektory mogą określić pewne parametry sygnałów fal grawitacyjnych. Gdy powstał detektor VIRGO, weszliśmy w kontakt z astrofizykami i specjalistami od programowania, analizy danych. Stworzyliśmy większy zespół i dzięki kontaktom osobistym dołączyliśmy do projektu VIRGO jako polska grupa. Przedtem dołączyła grupa holenderska, a później węgierska, tak że projekt VIRGO to obecnie pięć krajów: Włochy i Francja, które wyłożyły *gros* funduszy na budowę detektora, Holandia, która też wyłożyła znaczne środki, oraz Polska i Węgry, które m.in. analizują dane. My prowadzimy też badania źródeł astrofizycznych fal grawitacyjnych, budujemy modele sygnałów fal grawitacyjnych oraz zaczynamy się przyczyniać do rozbudowy detektora VIRGO, który w tej chwili jest modernizowany i znacznie działać dopiero w połowie tego roku. Podstawowa czułość będzie dalej poprawiana i mamy nadzieję do jej poprawienia się przyczynić.

M.B.: To oczywiście zależy od tego, czy będziemy mieć na to fundusze.

**Ten motyw wraca. Pieniądze. Nie są duże, a jednak stanowią problem.**

A.K.: Bo też nie są małe jak na badania podstawowe. Ich skala wymaga aprobaty nie na poziomie agencji finansujących, ale na poziomie rządowym.

M.B.: W przypadku VIRGO to koszt rządu 10 mln euro na rok przez 20 lat budowy detektora.

**10 mln euro na wszystko?**

M.B.: Tak. Na rozwój, utrzymanie, budowę sprzętu. Mnóstwo inżynierów – więcej niż naukowców. To jest duże inżynierskie przedsięwzięcie, my, teoretycy i analitycy danych, jesteśmy na końcu. Do budowy Polska przyczyniła się poprzez zatrudnienie inżyniera, który na miejscu pracował i pracuje nadal.

**Ale polski udział dotyczy przede wszystkim analizy danych?**

M.B.: Rozwijamy metody analizy. Druga rzecz to ich implementacja. Chodzi o obliczenia, wymagające komputerów o dużej mocy. Dlatego musimy się bardzo starać, żeby nasze kody były optymalne, szybkie, żeby nie marnowały prądu i pieniędzy. Szukanie sy-

gnałów fal grawitacyjnych to trudny problem, bo ich „na oko” nie widać. Sygnał jest najczęściej ukryty w szumie i trzeba go wydobyć za pomocą metod statystycznych, które zresztą prof. Królik wymyślił. Jako że nie wiemy, jaki ten sygnał jest, musimy sprawdzić wszystkie możliwości, co wymaga dużo obliczeń. To jest szukanie igły w stogu siana.

**I ta igła...**

M.B.: ...w ubiegłym roku się znalazła.

A.K.: Co ciekawe, 14 września był dniem, kiedy detektor zaczął pracę.

M.B.: Właściwie działał już parę tygodni, a oficjalnie, po wstępnym rozruchu, miał zacząć funkcjonowanie w ciągu kilku następnych dni. I trafił się sygnał.

A.K.: Cechą projektu LIGO i VIRGO jest to, że zainwestowano duże środki bez gwarancji sukcesu. Zdecydowała siła przebiecia i perswazji tych, którzy organizowali społeczność wokół projektu. Ale nikt nie oczekiwał, że w pierwszym ciągu danych po modernizacji, kiedy zaczęły pracę detektory LIGO, a VIRGO jeszcze nie działał, zostanie wykryty sygnał fali grawitacyjnej. To było zaskoczenie.

M.B.: Myśleliśmy, że może coś się wydarzy na dalszych etapach kampanii, kiedy detektor będzie naprawdę czuły. Prognozy, jak często tego typu zjawiska się zdarzają, zależą od tego, ile istnieje takich układów, a tego nie wiemy. Może być jeden taki sygnał na 100 lat albo mniej, a może być więcej. Nie było wiadomo, czy natura będzie dla nas łaskawa i czy np. detektor nie musiałby działać przez 10 lat, żeby wykryć jeden przypadek.

**Jak ten szczęśliwy przypadek przebiegał?**

M.B.: Dane wciąż spływają. Na samym początku łańcucha jest program, który analizuje dane bez udziału człowieka. Ten automat wykrył sygnał bardzo szybko. Później prowadzi się analizę *offline*. Dopasowuje się wszystkie możliwe modele sygnału, żeby znaleźć ten najlepszy. Wtedy można też wydobyć parametry modelu. Stąd właśnie wiemy, że zderzyły się dwie czarne dziury, i można było oszacować ich masy.

**Gdzie panowie byli, kiedy przyszła wiadomość?**

M.B.: Ja na stypendium w centrum komputerowym w Karlsruhe.

A.K.: A ja w Warszawie. Najpierw było niedowierzanie. Podejrzewano, że to był sygnał dodany sztucznie, co się praktykuje, żeby sprawdzić nasze metody. Otóż jest bardzo mała grupa osób, która w niewiadomym momencie wprowadza sygnał do danych. Ci, którzy dane analizują, powinni go wykryć.

**Tylko wykryć czy także zorientować się, że jest fałszywy?**

A.K.: Jeżeli jest prawidłowo dodany, to analityk nie jest w stanie odróżnić, czy sygnał jest sztuczny, czy

prawdziwy. Na tym polega sprawdzian. Na pierwszym etapie działania detektorów takie testy przeprowadzano często, więc pojawiło się podejrzenie, że ktoś złośliwie dodał sygnał. Ale ta możliwość została dokładnie sprawdzona i wyeliminowana.

#### **A inne możliwe zaburzenia?**

M.B.: Dwa detektory wykryły ten sam sygnał z pewnym przesunięciem czasowym, bo są w innych miejscach na powierzchni Ziemi. To oznacza, że fala przeszła najpierw przez jeden detektor, potem przez drugi i zaczęły one drgać w tym samym rytmie z pewnym przesunięciem. Jest to silny dowód na to, że sygnał ma astrofizyczne pochodzenie.

A.K.: Sygnał nie tylko został wykryty w czasie rzeczywistym, ale później był analizowany przez kilka innych metod niezależnych i wszystkie potwierdziły, że to jest zlanie dwóch czarnych dziur o zbliżonej masie. Doskonale pasuje do przewidywań. A my mamy najlepsze modele takich układów podwójnych.

#### **My, czyli Polacy?**

A.K.: My, czyli wszystkie osoby współpracujące. Jako polski zespół do tego modelowania też się przyczynialiśmy, ale to był wysiłek dziesiątek osób i setki prac. Sygnał ma trzy etapy. Najpierw czarne dziury krążą wokół siebie – wtedy rośnie częstość i amplituda. Później się zlewają. W końcu powstaje jedna czarna dziura, która jeszcze drga i te drgania też są źródłem fal grawitacyjnych. Dla każdego etapu mamy bardzo dokładne modele numeryczne.

#### **Ale jednak najpierw była obawa, że to tylko test...**

M.B.: Jeśli była w ogóle obawa, czy to jest test z dodanym sztucznym sygnałem, to została ona bardzo szybko rozwiana – w przypadku wrześniowego sygnału praktycznie od samego początku było jasne, że to nie jest test. Tego typu sprawdzian mieliśmy jednak parę lat temu, przy czym wtedy od początku było wiadomo, że sygnał może nie jest prawdziwy. Dane były jednak analizowane na serio do momentu, aż całość została przygotowana do publikacji! Dopiero wtedy nastąpiło otwarcie koperty, w której miała być kartka ze słowem „tak” albo „nie”. Chodzi tu o sprawdzenie instrumentów i programów komputerowych, ale także o socjologiczne doświadczenie – test, jak działa wielki zespół ludzi. Efektywna praca wymaga podzielenia się na podgrupy, niektórzy muszą przyjąć role liderów, niektórzy piszą tekst, inni sprawdzają kody, a jeszcze inni robią poprawki. Wszystko jest sprawdzane na wszelkie możliwe sposoby. Tekst pisze paru ludzi, ale wszyscy współpracujący w ramach projektu go czytają, zgłaszają uwagi i pomysły. Dobry podział zadań to jest również praca menedżerska. W projekcie LIGO pracuje około tysiąca osób, a w projekcie VIRGO około 300.

#### **A więc test jest nie tylko sprawdzianem urządzenia, ale też ludzi, zespołu.**

##### **Kto to wymyślił?**

A.K.: Takie metody stosuje się w wielu projektach, zawsze sprawdza się kody numeryczne na sztucznych sygnałach. Analiza danych jest analizą statystyczną, gdzie się wykrywa sygnały z pewnym prawdopodobieństwem, które trzeba określić. Pojawia się więc czynnik ludzki. Jeśli ktoś wie, że sygnał został dodany, i wie, jak go wykrywać, to już zaburza pomiar.

M.B.: A chodzi o to, żeby kod wykrywał sygnał bez wpływu „dopasowania się” człowieka.

A.K.: Trzeba podjąć decyzję, czy rzeczywiście możemy powiedzieć, że odkryliśmy sygnał fal grawitacyjnych. Stąd ogromna ostrożność, bo doniesień o sygnałach fal grawitacyjnych było kilka i do tej pory się nie potwierdziły, zaczynając od analizy Webera, która okazała się błędna i trochę niedbała.

M.B.: Ale, jak mówi Sherlock Holmes, jak się wyeliminuje wszystkie niemożliwe rzeczy, to zostaje ta, która jest prawdziwa. Nawet jeśli nieprawdopodobna.

#### **Po 14 września musieliście wyeliminować też możliwość sztucznego wzbudzenia detektora np. przez ruchy Ziemi...**

M.B.: Detektor mierzy różnicę w długości ramion (albo innymi słowy, czas przelotu), bo promienie wlatują do środka, odbijają się wielokrotnie od luster, a potem wracają i interferują. Jeśli nic się nie dzieje, nie ma żadnego światła. A jeśli długość ramion interferometru się zmienia, zaczyna błyskać światelko proporcjonalnie do tego, jak duże jest odkształcenie. To jest jeden tak zwany kanał pomiaru. Ale kanałów jest mnóstwo: sejsmometry, magnetometry, mikrofony. Tych pomocniczych kanałów pomiaru są tysiące. Wszystkie są analizowane, tak żeby wykluczyć wpływ innych czynników na sygnał fali grawitacyjnej w głównym kanale.

#### **I przy tych wszystkich środkach ostrożności uznaliście, że to jest właśnie to?**

M.B.: Akurat ten konkretny sygnał jest bardzo silny i jasno widoczny w kanale. Nic się nie działo, nie było żadnych trzęsień ziemi ani innych zaburzeń. To bardzo przekonujące.

#### **Ile czasu minęło od 14 września, zanim uznano, że sygnał jest autentyczny?**

A.K.: Około miesiąca. Ponieważ procedura postępowania w przypadku, kiedy mamy potencjalnie rzeczywisty sygnał, jest wielostopniowa, nie można określić dokładnie kiedy, ale po kilku tygodniach stwierdzono, że to jest dobry kandydat na sygnał fali grawitacyjnej. Wszystkie metody pokazywały to samo: ten sam sygnał, te same czarne dziury o tej samej masie, w tej samej odległości.

## ODKRYCIE FAL GRAWITACYJNYCH

**Czego się w ten sposób dowiedzieliśmy?**

M.B.: Fundamentalnych rzeczy. Przede wszystkim mamy dowód na istnienie czarnej dziury. Do tej pory nazywaliśmy tak nieświecące masywne obiekty o małych rozmiarach. Wrześniowa detekcja to natomiast przejaw dynamicznego oddziaływania dwóch horyzontów, połączenie się ich i stworzenie nowego. Druga rzecz to obserwacja układu podwójnego czarnych dziur, czego też nikt wcześniej nie robił, bo czarne dziury nie świecą. W dodatku te czarne dziury są masywniejsze niż nasze galaktyczne czarne dziury (nie licząc tej w centrum Drogi Mlecznej oczywiście).

**Ile czasu one „tańczą” wokół siebie?**

M.B.: Są w układzie podwójnym przez miliony lat, ale powoli się do siebie zbliżają przez emisję energii. Zjawisko obserwowane w detektorach LIGO, trwało 0,12 s.

A.K.: Były już tak blisko, że tylko osiem razy się obróciły wokół siebie zanim się zwały w ciągu tych 0,12 s. Detektor nie mógł widzieć wcześniejszego etapu, bo nie jest dość czuły.

– Dołączyłem do zespołu w 2011 roku, kiedy detektory przestały działać, więc dla mnie ostatnich parę lat to były „wieki ciemne”, bez nowych danych – mówi  
**dr hab. Michał Bejger**

M.B.: Widzieliśmy etap spiralowania, potem zlewania się horyzontów i trzecią fazę, kiedy istnieje już tylko jedna czarna dziura, której horyzont drga podobnie jak uderzony dzwon.

A.K.: To dwa odkrycia w jednym, bo i fali grawitacyjnej, i układu podwójnego czarnych dziur. A dodatkowo wszystko bardzo dokładnie zgadza się z ogólną teorią względności Einsteina. Przez ostatnich 100 lat proponowano wiele innych teorii grawitacji, ale okazuje się, że teoria Einsteina wciąż wygrywa.

M.B.: Może być tak, że odstępstw od teorii Einsteina nie stwierdzono, bo sygnał nie był dostatecznie silny.

A.K.: Do tej pory testy teorii względności prowadzono dla układów, w których prędkość jest rzędu jednej tysięcznej prędkości światła, czyli wynosi parę tysięcy kilometrów na sekundę. Natomiast te czarne dziury poruszały się z prędkością połowy prędkości światła, 150 tys. km/s. Ogólna teoria względności została sprawdzona w tak ekstremalnych warunkach jak nigdy wcześniej.

**Rozumiem, że do 14 września był czas oczekiwania. Czy konieczność bycia cierpliwym nie jest czasem irytująca?**

M.B.: Dla mnie bardzo.

A.K.: Ja jestem teoretykiem, zaczynałem od wykrywania sygnału fal grawitacyjnych na papierze, od tworzenia metod matematycznych. To było po prostu ciekawe. Wykrycie było tak daleką perspektywą, że się o tym nie myślało.

M.B.: Ja wcześniej zajmowałem się bardzo gęstą materią w gwiazdach neutronowych. Dołączyłem do zespołu w 2011 roku, kiedy detektory akurat przestały działać, więc dla mnie ostatnich parę lat to były „wieki ciemne”, bez nowych danych.

**Teraz jest zmęczenie czy nadzieja na coś nowego?**

M.B.: Nasza pierwsza publikacja dotyczy pierwszych 16 dni z 4 miesięcy zbierania danych. Teraz analizujemy dane z kolejnych dni tych czterech miesięcy...

A.K.: ...i oczekujemy wykrycia innych sygnałów. W szczególności sygnału po zderzeniu się nie czarnych dziur, ale gwiazd neutronowych. Nasza grupa specjalizuje się też m.in. w sygnałach od rotujących gwiazd neutronowych.

M.B.: A jeśli wybuch supernowej zdarzy się dość blisko, też może być źródłem sygnału. I mamy nadzieję go złapać.

Z PROF. ANDRZEJEM KRÓLAKIEM  
 I DR. HAB. MICHAŁEM BEJGEREM  
 ROZMAWIAŁY ANNA ZAWADZKA,  
 KATARZYNA CZARNECKA  
 I AGNIESZKA POLLO,  
 ZDJĘCIA JAKUB OSTAŁOWSKI

Dr hab. Michał Bejger jest astrofizykiem. Był stypendystą programu Marie Curie w Obserwatorium Paryskim i reintegracyjnego stypendium Marie Curie w CAMK PAN. Oprócz analizy danych detektorów fal grawitacyjnych jego zainteresowania naukowe obejmują fizykę wewnątrz gwiazd neutronowych, procesy zachodzące blisko horyzontu czarnych dziur oraz symulacje numeryczne w ogólnej teorii względności. Edytor działu astronomii w magazynie „Delta”.