

Rzec można, że odwieczną tajemnicą świata  
jest jego poznawalność.

*Albert Einstein*

# Rejestracja fal grawitacyjnych

Materiały prasowe

PAN  
POLSKA AKADEMIA NAUK

# Co się zdarzyło 14 września 2015 r.

**Fale grawitacyjne wywołane zderzeniem dwóch czarnych dziur zarejestrowali naukowcy 14 września 2015 r. o godz. 9.50 czasu uniwersalnego. Wydarzenie to potwierdza jedną z najważniejszych konsekwencji ogłoszonej w 1915 r. ogólnej teorii względności Alberta Einsteina. Otwiera całkowicie nowe perspektywy badania wszechświata. W odkryciu brali udział również Polacy.**

**F**ale grawitacyjne są drobnymi zmarszczkami krzywizny czasoprzestrzeni, wytwarzanymi przez gwałtowne zdarzenia dziejące się w kosmosie, takie jak zlewanie się układu podwójnego gwiazd neutronowych, eksplozje masywnych gwiazd (supernowych) lub zderzenia czarnych dziur. Ich istnienie zostało przewidziane w 1916 r. jako jedna z konsekwencji ogólnej teorii względności Einsteina.

Zarejestrowane we wrześniu 2015 r. fale grawitacyjne powstały w ostatnim ułamku sekundy połączenia się dwóch czarnych dziur o masach 30-krotnie przewyższających masę Słońca. Przez kilka miliardów lat orbitowały one wokół siebie w układzie podwójnym, stopniowo zbliżając się do siebie. W końcu doszło do ich zderzenia, a w konsekwencji zlania się w jedną potężną czarną dziurę, która jakiś czas jeszcze pulsowała, wypromieniowując niezwykłą ilość energii – to najbardziej energetyczne zjawisko znane ludzkości, 100 razy jaśniejsze niż jasność Wszechświata.

Zderzenie dwóch czarnych dziur zaobserwowano pierwszy raz. Rozchodzące się w jego wyniku fale grawitacyjne dotarły do Ziemi z – jak mówi ogólna teoria względności – prędkością światła. Ich rejestracja była możliwa dzięki detektorom Laserowego Obserwatorium Interferometrycznego Fal Grawitacyjnych – LIGO (Interferometer Gravitational-Wave Observatory), znajdującym się w Livingston w stanie Luizjana i Hanford w stanie Waszyngton w USA. Nad odkryciem pracował ponad 1300-osobowy zespół naukowców LIGO Scientific Collaboration oraz Virgo Collaboration, którego częścią jest polska grupa naukowa POLGRAW.

Bezpośrednia obserwacja fal grawitacyjnych to potwierdzenie ogólnej teorii względności Einsteina, pokazującej związek grawitacji z krzywizną czasoprzestrzeni. Fale są bowiem jedynym w swoim rodzaju „próbniakiem” stanu grawitacji w ekstremalnych warunkach, takich jak właśnie zapadający się układ podwójny czarnych dziur. Ich detekcja i badanie jest niezbędne do zrozumienia grawitacji, najbardziej naturalnego z czterech podstawowych oddziaływań (grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne i słabe), a jednak wciąż najbardziej tajemniczego.

Wykrycie fal grawitacyjnych otwiera nowe możliwości badania wszechświata. Przez stulecia ludzkość poznawała go przez obserwację światła wypromieniowanego przez obiekty na niebie. Fale grawitacyjne są całkowicie odrębnym i nowym rodzajem przekazywania niedostępnej w żaden inny sposób astronomicznej informacji. O ile fale elektromagnetyczne powstają podczas ruchu ładunków elektrycznych, o tyle grawitacyjne są efektem ruchu mas – a to dwie niezależne cechy materii. Teraz za ich pomocą będzie można badać również fragmenty kosmosu zasłonięte przez kosmiczny pył.

Detekcja fal grawitacyjnych umożliwi także rozwój wyrafinowanej technologii w różnych dziedzinach inżynierii – od mechaniki do optyki. ☉

# Piętnaścioro z tysiąca trzystu

udział polskich naukowców w rejestracji fal grawitacyjnych

stotny wkład w doprowadzeniu do pierwszej bezpośredniej obserwacji fali grawitacyjnej z układu podwójnego czarnych dziur wniosło 15 polskich naukowców pracujących w grupie POLGRAW, która jest członkiem projektu Virgo.

Stworzyli oni podstawy wielu algorytmów i metod służących do wykrycia i estymacji parametrów fal grawitacyjnych z układów podwójnych (prof. dr hab. Andrzej Królak, prof. dr hab. Piotr Jaranowski), przyczynili się do precyzyjnego modelowania sygnału fali grawitacyjnej z układu podwójnego (prof. dr hab. Piotr Jaranowski, prof. dr hab. Andrzej Królak), przeprowadzili symulacje pokazujące, że układy podwójne czarnych dziur są najlepiej wykrywalnymi przez detektory LIGO-Virgo źródłami promieniowania grawitacyjnego (prof. dr hab. Krzysztof Belczyński, prof. dr hab. Tomasz Bulik), badali astrofizyczne własności układów podwójnych (dr hab. Michał Bejger, dr Izabela Kowalska-Leszczyńska, dr hab. Dorota Rosińska), oraz poszukiwali mogących towarzyszyć zdarzeniu błysków optycznych (dr Adam Zadrożny).

„30 lat temu dostałem stypendium u prof. Bernarda F. Schutza w Instytucie Maxa Plancka. Kiedy wróciłem do Instytutu, znalazłem współpracowników (pierwszym był prof. Jaranowski) i zaczęliśmy rozwiązywać problemy teoretyczne dotyczące tego, jak analizować dane. Stopniowo weszliśmy w kontakt z astrofizykami oraz specjalistami od programowania komputerów i stworzyliśmy większą grupę. Dzięki kontaktom osobistym, dołączyliśmy do projektu Virgo”.

*prof. Andrzej Królak*

Do urzeczywistnienia odkrycia przyczyniła się również praca prof. dr hab. Andrzeja Królaka jako członka Zarządu projektu Virgo i członka Komisji Analizy Danych konsorcjum LIGO-Virgo oraz praca prof. dr hab. Tomasza Bulika jako członka jednego z Komitetów Przeglądu Prac konsorcjum. Dr hab. Michał Bejger brał udział w weryfikacji kodów numerycznych, które były użyte do analizy danych, a prof. dr hab. Andrzej Królak był jednym z wewnętrznych recenzentów jednej z prac przedstawiających odkrycie.

Dziewięciu naukowców z grupy POLGRAW znalazło się wśród autorów publikacji ogłaszającej odkrycie fal grawitacyjnych, która ukaże się w „Physical Review Letters”.

#### **W skład grupy POLGRAW wchodzi:**

**prof. dr hab. Andrzej Królak** – Instytut Matematyczny PAN – lider grupy  
**dr hab. Michał Bejger** – Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN  
**prof. dr hab. Krzysztof Belczyński** – Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski  
**dr Arkadiusz Blaut** – Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Wrocławski  
**dr Kazimierz Borkowski** – Centrum Astronomii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
**prof. dr hab. Tomasz Bulik** – Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski  
**dr Paweł Ciecieląg** – Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN  
**dr Orest Dorosh** – Narodowe Centrum Badań Jądrowych  
**prof. dr hab. Piotr Jaranowski** – Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku  
**dr Izabela Kowalska-Leszczyńska** – Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski  
**mgr inż. Adam Kutynia** – Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska  
**dr Maciej Piętka** – poprzednio Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku, obecnie Gjøvik Videregående Skole  
**dr hab. Dorota Rosińska** – Instytut Astronomii, Uniwersytet Zielonogórski  
**mgr Magdalena Sieniawska** – Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN  
**dr Adam Zadrożny** – Narodowe Centrum Badań Jądrowych

„Rozwijamy metody analizy danych. Ich implementacja wymaga dużych komputerów. Staramy się, by nasz kod do analizy był optymalny – liczył szybko i nie marnował prądu i pieniędzy. Badanie fal grawitacyjnych nie jest łatwe – sygnału nie można zobaczyć, a kiedy dochodzi do Ziemi, jest ukryty w szumie. Żeby go z niego wydobyć, trzeba użyć specjalnych metod statystycznych – wymyślał je m.in. prof. Królak”. *dr hab. Michał Bejger*

#### **Polscy naukowcy zajmują się analizowaniem danych zbieranych przez detektory LIGO i Virgo, a w szczególności:**

- ⊙ modelowaniem sygnałów wywołanych przez fale grawitacyjne ze zlewających się układów podwójnych czarnych dziur i gwiazd neutronowych,
- ⊙ opracowywaniem algorytmów numerycznych służących do wykrywania fal grawitacyjnych w szumie detektora,
- ⊙ udziałem w poszukiwaniu fal grawitacyjnych z rotujących gwiazd neutronowych,
- ⊙ modelowaniem populacji układów podwójnych gwiazd neutronowych i czarnych dziur,
- ⊙ astrofizyką źródeł fal grawitacyjnych,
- ⊙ poszukiwaniem koincydencji pomiędzy danymi z detektorów LIGO i Virgo a obserwacjami optycznymi,
- ⊙ identyfikacją okresowych zakłóceń pojawiających się w danych.

Grupa zajmuje się również rozbudową infrastruktury komputerowej dostarczającej mocy obliczeniowych niezbędnych do analizy danych. Poza tym bierze udział w dyżurach obserwacyjnych oraz wnosi wkład w budowę, utrzymanie i modernizację detektora Virgo.



### **prof. dr hab. Andrzej Królak – lider grupy POLGRAW**

#### **Instytut Matematyczny PAN**

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. Doktorat uzyskał w 1982 r. na Wydziale Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego, habilitował się w Instytucie Matematyki PAN w 1990 r. Doświadczenie zdobywał na stażu podoktorskim na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Cardiff (1986-1988); jako Visiting Scientist w Instytucie Fizyki Grawitacyjnej Instytutu Maxa Plancka w Poczdamie (Instytut Alberta Einsteina) (1996-1998 oraz 2004-2005); Senior Research Associate w Laboratorium Napędu Odrzutowego NASA na Kalifornijskim Uniwersytecie Technologicznym w Pasadenie (2002-2004). Dwukrotny laureat prestiżowej nagrody II stopnia Fundacji Badań nad Grawitacją (Gravity Research Foundation, USA). Pierwszą otrzymał w 1982 r. Drugą, wraz z prof. Bernardem F. Schutzem, za pracę „Coalescing Binaries Probe of the Universe”, w której przedstawiono podstawowe własności sygnału fali grawitacyjnej ze zlewającego się układu podwójnego, który jest przedmiotem obecnego odkrycia. Członek Polskiego Towarzystwa Matematycznego, założyciel Polskiego Towarzystwa Relatywistycznego. Jego zainteresowania badawcze obejmują fale grawitacyjne: analizę danych, algorytmy detekcji oraz osobliwości czasu i przestrzeni: hipotezy kosmicznej cenzury.

### **dr hab. Michał Bejger Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN**

Astrofizyk. W przeszłości był stypendystą programu Marie Curie w Obserwatorium Paryskim i reintegracyjnego stypendium Marie Curie w CAMK PAN. Od 2011 roku jest członkiem współpracy LIGO-Virgo. 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. Współrozwija pakiet do obliczeń symbolicznych rachunku tensorowego i różniczkowej geometrii SageManifolds (część projektu wolnego i otwartego oprogramowania SageMath). Jest edytorem działu astronomii w magazynie popularnonaukowym „Delta”.

### **prof. dr hab. Krzysztof Belczyński Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski**

Astrofizyk. Członek LIGO Scientific Collaboration (LSC) w latach 2002-2009. Jego zainteresowania naukowe dotyczą astrofizyki teoretycznej w tym ewolucji gwiazd w układach podwójnych, fizyki obiektów zwartych (czarnych dziur, gwiazd neutronowych, białych karłów) oraz źródeł promieniowania grawitacyjnego. Doktorat uzyskał w 2001 r. w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, habilitację w 2010 roku. Pracownik prestiżowych ośrodków badawczych: Los Alamos National Laboratory, New Mexico State University, Northwestern University, Harvard-Smithsonian, CNRS. Laureat nagród FNP i PAN. Członek honorowy Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego.

### **dr Arkadiusz Błaut Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Wrocławski**

W latach 1988-93 studiował fizykę na Uniwersytecie Wrocławskim, gdzie w roku 1993 obronił tytuł magistra, a w roku 1998 uzyskał stopień doktora. Specjalizuje się w fizyce oddziaływań grawitacyjnych. Zakres jego prac badawczych obejmuje m.in. kosmologię oraz detekcję fal grawitacyjnych. Od 2013 r. jest członkiem projektu LIGO.

### **dr Kazimierz Borkowski Centrum Astronomii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu**

Emerytowany pracownik UMK, gdzie jako radioastronom w 1980 r. uzyskał stopień doktora nauk fizycznych. Specjalizował się w obserwacjach Słońca i w technice VLBI. W ramach POLGRAW opracował programy do redukcji pomiarów pochodzących z naziemnych detektorów fal grawitacyjnych, do barycentrum Układu Słonecznego oparte o precyzyjne efemerydy JPL.

### **prof. dr hab. Tomasz Bulik** Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski

Ukończył studia na Wydziale Fizyki UW w 1988 r. Pięć lat później uzyskał doktorat na Wydziale Astronomii i Astrofizyki Stanowego Uniwersytetu Pensylwanii. Po kilkuletnim stażu podoktorskim na Uniwersytecie Chicagowskim w 1996 r. powrócił do Polski i rozpoczął pracę w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN. W Obserwatorium Astronomicznym UW pracuje od 2005 r. Jego zainteresowania to astrofizyka teoretyczna, badanie relatywistycznych źródeł kosmicznych, ewolucja układów podwójnych, a także charakteryzacja miejsc na budowę teleskopów. Jest autorem 250 artykułów naukowych.

### **dr Paweł Ciecieląg** Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN

W pracy doktorskiej zajmował się symulacjami numerycznymi wielkoskalowej struktury Wszechświata, a podczas stażu podoktorskiego w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu w Monachium – symulacjami dysków protoplanetarnych. Posiada doświadczenie w zarządzaniu projektami z pogranicza astronomii i informatyki takimi jak AstroGrid-PL. Obecnie zarządza klastrami obliczeniowymi w CAMK PAN oraz IM PAN. W połowie 2015 r. dołączył do współpracy LIGO-Virgo jako ekspert w zakresie optymalizacji oprogramowania i obliczeń wielkoskalowych.

### **dr Orest Dorosh** Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Fizyk. Studia ukończył na Uniwersytecie we Lwowie, studia doktoranckie w Instytucie Fizyki PAN. Od 2011 r. jest członkiem współpracy LIGO-Virgo. Oprócz analizy danych detektorów fal grawitacyjnych, jego zainteresowania naukowe obejmują metody probabilistyczne do problemów rozpraszania zanieczyszczeń w środowisku.

### **prof. dr hab. Piotr Jaranowski** Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku

Doktorat obronił z wyróżnieniem w 1994 r. w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN w Warszawie, stopień doktora habilitowanego zdobył w 2002 r. na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W 2015 r. otrzymał tytuł profesora nauk fizycznych. Od ukończenia w 1985 r. na UW studiów z fizyki związany jest z Białymstokiem. Staż podoktorski odbył w Max-Planck-Arbeitsgruppe Gravitationstheorie na Uniwersytecie Friedricha Schillera w Jenie (Niemcy). Wielokrotnie był wizytującym naukowcem w Max Planck Institute for Gravitational Physics (Albert Einstein Institute) w Niemczech, w Theoretisch-Physikalisches Institut na Uniwersytecie Friedricha Schillera w Jenie (Niemcy) oraz w Institut des Hautes Études Scientifiques (Bures-sur-Yvette, Francja). Zajmuje się analizą danych z detektorów fal grawitacyjnych oraz problemem ruchu w ogólnej teorii względności. Jest współautorem ok. 120 artykułów opublikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym oraz (wraz z prof. Andrzejem Królakiem) monografii „Analysis of Gravitational-Wave Data” wydanej przez Cambridge University Press. Jest członkiem Międzynarodowej Unii Astronomicznej, Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Polskiego Towarzystwa Relatywistycznego.

### **dr Izabela Kowalska-Leszczyńska** Obserwatorium Astronomiczne, Uniwersytet Warszawski

Absolwentka Wydziału Fizyki UW, gdzie później uzyskała stopień doktora w zakresie astrofizyki. Obecnie odbywa staż podoktorski w OA UW. Zajmuje się badaniem sygnałów pochodzących od zlewających się układów podwójnych gęstych, masywnych obiektów, takich jak czarne dziury czy gwiazdy neutronowe, jak również szeroko pojętymi zastosowaniami astrofizycznymi obserwacji fal grawitacyjnych. Z grupą POLGRAW jest związana od początku jej istnienia.

### **mgr inż. Adam Kutynia**

#### **Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska**

Inżynier elektroniki. W 2001 roku ukończył Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, gdzie pracował przez następne 11 lat w grupie konstruującej spektrometry EPR. Od 2012 członek grupy POLGRAW, oddelegowany do pracy w detektorze Virgo we Włoszech. Członek zespołu opracowującego system sterowania aktywnego tłumienia drgań sejsmicznych (SAT) w interferometrze. Po powrocie do kraju stworzył grupę inżynierów, którzy kontynuują prace nad nową wersją układu sterowania zawieszonymi aktywnymi oraz modułowym układem akwizycji i obróbki danych do kompensacji szumu newtonowskiego dla Virgo.

## **dr Maciej Piętka**

**dawniej Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku, obecnie Gjøvik Videregående Skole**

Fizyk teoretyczny zajmujący się m.in. fizyką półprzewodników, matematyk i programista komputerowy. Magisterium z fizyki otrzymał na Uniwersytecie w Białymstoku (1996), stopień doktora fizyki uzyskał na Uniwersytecie Warszawskim za pracę „Electron mobility in a Delta-Doped Semiconductor in the Presence of Gate Voltage” (2002). Adiunkt na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Białostockiego (1996-2009). Od 2010 r. uczy fizyki i matematyki w Gjøvik (Norwegia). Stworzył zestaw algorytmów i narzędzi numerycznych do wykrywania słabych sygnałów w oparciu o metodę największego prawdopodobieństwa. Software jego autorstwa jest wykorzystywany do poszukiwania fal grawitacyjnych w projekcie Virgo.

## **dr hab. Dorota Rosińska**

**Instytut Astronomii, Uniwersytet Zielonogórski**

Profesor nadzwyczajny w Instytucie Astronomii im. Janusza Gila na UZ. Prowadzi również badania w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN. Tytuł magistra astronomii otrzymała na Uniwersytecie Warszawskim, tytuł doktora astrofizyki w CAMK PAN, a tytuł doktora habilitowanego nauk fizycznych w zakresie astronomii na Uniwersytecie Jagiellońskim. W latach 2001-2005 oraz 2006-2009 pracowała w Obserwatorium Paryskim w Meudon oraz na Université Paris VII. W latach 2005-2006, jako laureat konkursu Hiszpańskiego Ministerstwa Nauki, prowadziła projekt z astrofizyki obiektów zwartych na Uniwersytecie w Alicante. Jest laureatką programu FOCUS FNP (2008-2013) oraz programu europejskiego POMOST FNP (2013-2015). Dzięki tym programom zbudowała zespół naukowy na Uniwersytecie Zielonogórskim pracujący nad astrofizycznymi źródłami fal grawitacyjnych. Program FNP umożliwił budowę klastra komputerowego PIRXGW na Uniwersytecie Zielonogórskim dedykowanego analizie danych z detektorów fal grawitacyjnych oraz modelowaniu astrofizycznych źródeł fal grawitacyjnych. Reprezentuje Uniwersytet Zielonogórski w konsorcjum detektora fal grawitacyjnych Virgo, konsorcjum Einstein Telescope oraz konsorcjum Kagra. W roku 2011 za wybitne zasługi w pracy naukowo-badawczej, dydaktycznej i społecznej, za popularyzowanie nauki w Polsce i na świecie została nagrodzona Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski. Członkiem projektów Virgo i LIGO jest od 2009 r. Zajmuje się m.in. symulacjami numerycznymi astrofizycznych źródeł fal grawitacyjnych oraz analizą danych z detektorów fal grawitacyjnych LIGO/Virgo. Pracuje w zespole poszukującym danych z detektorów, sygnału wytworzonego w procesie zlewania się układów podwójnych czarnych dziur i gwiazd neutronowych.

## **mgr Magdalena Sieniawska**

**Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN**

Doktorantka w CAMK PAN. W czasie studiów na Uniwersytecie Warszawskim pracowała w Narodowym Centrum Badań Jądrowych i współpracowała z ośrodkami badawczymi w Europie (m.in. AIfA w Bonn, MPA w Garching koło Monachium) nad zagadnieniami kosmologii i wielkoskalowej struktury Wszechświata. Od 2015 r. jest członkinią współpracy LIGO-Virgo, gdzie zajmuje się rozwijaniem kodu do analizy danych z detektorów fal grawitacyjnych. Jej dodatkowymi zainteresowaniami akademickimi są wnętrza gwiazd neutronowych, numeryczne metody modelowania procesów fizycznych oraz ogólna teoria względności.

## **dr Adam Zadrożny**

**Narodowe Centrum Badań Jądrowych**

Astrofizyk. Od 2010 r. jest członkiem współpracy LIGO-Virgo. Jego zainteresowania koncentrują się wokół astronomii wielu źródeł i metod analizy danych. Współpracuje z zespołem Pi of the Sky (CFT PAN, UW, NCBJ) nad poszukiwaniem błysków optycznych, które mogą być powiązane z kandydatami na fale grawitacyjne w danych detektorów sieci LSC-Virgo. W swoich badaniach stara się łączyć fizykę i informatykę. W 2012 r. był na stażu dla doktorantów w Facebook Inc. w Menlo Park w USA. Absolwent fizyki teoretycznej w ramach Kolegium MISMaP UW. Dawny stypendysta Krajowego Funduszu na rzecz Dzieci. ☺

# Czego nie widać

## krótka historia polowania na fale grawitacyjne

Istnienie fal grawitacyjnych wynika z ogólnej teorii względności sformułowanej przez Alberta Einsteina w 1915 r. Fale grawitacyjne są zaburzeniami czasoprzestrzeni, powstającymi podczas gwałtownych procesów astrofizycznych, takich jak np. zlewający się układ podwójny gwiazd neutronowych bądź czarnych dziur lub eksplozja masywnej gwiazdy (supernowa).

Od czasu sformułowania ogólnej teorii względności przez Alberta Einsteina badacze poszukiwali dowodów potwierdzających istnienie fal grawitacyjnych. Ich bezpośrednia detekcja jest niezwykle trudna, gdyż spodziewane amplitudy fal grawitacyjnych docierających na Ziemię z kosmosu są niesłychanie małe.

Ogłoszona przez Josepha Webera w 1969 roku detekcja fal grawitacyjnych za pomocą detektorów rezonansowych została zakwestionowana, ponieważ wykrywane oscylacje były o wiele za silne jak na pochodzące od fal grawitacyjnych. Obecnie wiadomo, że wynikały one z niedostatecznej eliminacji „efektów tła”, czyli szumów nie mających nic wspólnego z falami grawitacyjnymi, pochodzących z otoczenia. Takim „fałszywym sygnałem” mogą być np. drgania, wytworzone przez przejeżdżającą w pobliżu układu pomiarowego ciężarówkę.

W roku 1974 odkryto pulsar podwójny i zaobserwowano, że jego okres orbitalny maleje w tempie zgodnym z hipotezą, iż przyczyną tego malenia jest wypromieniowywanie fal grawitacyjnych. Za to odkrycie dwaj badacze Russell Hulse i Joseph Taylor otrzymali w 1993 r. Nagrodę Nobla.

W marcu 2014 naukowcy z Harvard Smithsonian University Centre for Astrophysics ogłosili „odkrycie” pierwotnych fal grawitacyjnych za pomocą teleskopu BICEP. Zaobserwowali oni specyficzne cechy polaryzacji mikrofalowego promieniowania tła, wyemitowanego przez materię we Wszechświecie 400 000 lat po Wielkim Wybuchu, które zinterpretowali jako wynik oddziaływania z falami grawitacyjnymi, obecnymi we Wszechświecie w epokach znacznie wcześniejszych. Niestety w roku 2015 wspólna analiza danych satelity PLANCK i teleskopu BICEP ujawniła, że domniemany sygnał fal grawitacyjnych z epoki tuż po Wielkim Wybuchu tak naprawdę został wytworzony przez... pył w naszej własnej Galaktyce. Poszukiwań śladów procesów z najwcześniejszych epok Wszechświata w polaryzacji mikrofalowego promieniowania tła nie zarzucono, ale miarodajne wyniki przyniosą zapewne dopiero przyszłe misje kosmiczne.

W polowanie na fale grawitacyjne angażują się fizycy, astronomowie i matematycy z czołowych ośrodków badawczych na świecie. Od lat 60. XX wieku budowane są naziemne detektory fal grawitacyjnych. Kolejna generacja tych detektorów, wykorzystująca technikę interferometrii laserowej powstała w ramach międzynarodowych projektów badawczych LIGO, Virgo i GEO600. W analizę danych z tych urządzeń zaangażowane są liczne zespoły naukowców.

W Polsce teoretycznymi i praktycznymi aspektami analizy danych z detektorów fal grawitacyjnych zajmuje się zespół POLGRAW składający się z 15 naukowców z 7 instytucji w Polsce, którego liderem jest prof. Andrzej Królak. Jest to kontynuacja prac polskich fizyków Leopolda Infelda, Jerzego Plebańskiego i Andrzeja Trautmana dotyczących promieniowania grawitacyjnego w ogólnej teorii względności. ☺



# Gdzie pracują odkrywcy

instytuty, z którymi związani są członkowie grupy POLGRAW

## Instytut Matematyczny PAN

IM PAN jest jednym z głównych matematycznych ośrodków naukowych w Polsce. Powstał w 1948 r. Badania prowadzą w nim specjaliści ze wszystkich dziedzin matematyki – około pięćdziesięciu zatrudnionych jest na stałe. Obszary ich badań to: algebra i geometria algebraiczna, równania różniczkowe i optymalizacja, układy dynamiczne, podstawy i filozofia matematyki, analiza funkcjonalna, geometria różniczkowa, fizyka matematyczna (m.in. fale grawitacyjne), teoria liczb, analiza numeryczna, statystyka, rachunek prawdopodobieństwa z zastosowaniami oraz topologia.

Instytut uczestniczy w wielu międzynarodowych projektach badawczych, organizuje ponad czterdzieści cotygodniowych seminariów i prowadzi studia doktoranckie z matematyki.

Poza Warszawą IM PAN prowadzi działalność w sześciu ośrodkach: w Gdańsku, Katowicach, Krakowie, Poznaniu, Toruniu i Wrocławiu.

Częścią Instytutu jest Międzynarodowe Centrum Matematyczne im. Stefana Banacha. Promuje ono i wspiera międzynarodową współpracę matematyków oraz organizuje międzynarodowe konferencje i warsztaty. Część z tych spotkań odbywa się w nowym Ośrodku Konferencyjnym w Będlewie koło Poznania, który zapewnia przyjazną atmosferę i pełną infrastrukturę dla imprez naukowych.

Dyrektorem IM PAN jest prof. dr hab. Feliks Przytycki.

W wyniku kategoryzacji instytutów naukowych przeprowadzonej w 2013 roku IM PAN uzyskał najwyższą kategorię, A+, co oznacza poziom wiodący. [www.impan.pl](http://www.impan.pl)

## Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN

CAMK PAN jest wiodącym polskim instytutem naukowym w zakresie astronomii i astrofizyki. W obecnym kształcie istnieje od 1978 roku. Prowadzone są tu badania obserwacyjne i teoretyczne w zakresie astrofizyki gwiazd, układów gwiazd i materii wokółgwiazdowej, fizyki materii gęstej, procesów fizycznych wokół gwiazd neutronowych i czarnych dziur z uwzględnieniem procesów akrecji, struktury i ewolucji aktywnych galaktyk, kosmologii oraz poszukiwania pozasłonecznych układów planetarnych.

Pracownicy Centrum uczestniczą w dużych, międzynarodowych projektach obserwacyjnych np. H.E.S.S., CTA (obserwacje promieniowania gamma o bardzo wysokiej energii (TeV) metodą detekcji promieniowania Czerenkowa), Herschel (satelitarne obserwacje promieniowania podczerwonego), SALT (teleskop optyczny ok. 10 m średnicy, zlokalizowany w Republice Południowej Afryki), INTEGRAL, Fermi (satelitarne obserwacje promieniowania gamma). W Centrum realizowany jest projekt badawczy SOLARIS poszukiwania pozasłonecznych układów planetarnych finansowany m.in. przez European Research Council (tzw. Starting Independent Researcher Grant). Centrum jest też operatorem naziemnego centrum łączności z polskimi satelitami naukowymi BRITE.

Pracownicy CAMK współpracują z naukowcami z wielu renomowanych instytutów i uniwersytetów zagranicznych, np. Uniwersytet Stanforda, Uniwersytet Harvarda (Cambridge, USA), Uniwersytet w Durham (Wlk. Brytania), Institut d'Astrophysique (Paryż), Institute of Space and Astronautical Science (Japonia), Ioffe Institute (St. Petersburg) itp.

Dyrektorem CAMK jest prof. dr hab. Piotr Źycki.

W wyniku kategoryzacji instytutów naukowych przeprowadzonej w 2013 roku CAMK PAN uzyskał najwyższą kategorię, A+, co oznacza poziom wiodący. [www.camk.edu.pl](http://www.camk.edu.pl)

**Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego** jest placówką naukową działającą od niemal dwustu lat. Wybitny poziom badań naukowych decyduje o znaczącej pozycji OAUW w kraju i w świecie, o czym świadczą zaszczytne nagrody przyznane np. przez Premiera RP, Fundację na rzecz Nauki Polskiej czy PAN, a także prestiżowe granty krajowe (FNP, MNiSW) i zagraniczne (NSF, NASA, ERC). Pozycję światowego lidera w dziedzinie wielkoskalowych przeglądów fotometrycznych nieba OAUW zawdzięcza realizowanym od kilkunastu lat projektom OGLE i ASAS. OAUW dysponuje dwiema stacjami obserwacyjnymi: północną w Ostrowiku koło Warszawy, przeznaczoną głównie do celów dydaktycznych, oraz południową w Obserwatorium Las Campanas (LCO) w Chile – w jednej z najlepszych lokalizacji astronomicznych na świecie. [www.astrouw.edu.pl](http://www.astrouw.edu.pl)

**Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Wrocławskiego.** UWr jest jedną z najstarszych uczelni Europy Środkowej. Kształci blisko 28 tysięcy studentów, jest największą uczelnią Dolnego Śląska. Jego dyplomami może się pochwalić ponad 100 tys. powojennych absolwentów. Wśród około 1900 nauczycieli akademickich są laureaci nagrody Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej i nagrody Prezesa Rady Ministrów. [www.ift.uni.wroc.pl](http://www.ift.uni.wroc.pl)

**Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu** jest częścią Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK. Powstało 1 stycznia 1997 w wyniku połączenia Katedry Radioastronomii i Instytutu Astronomii. Jego siedziba znajduje się w Piwnicach, 15 km na północ od Torunia. Przeszło 400 publikacji naukowych, 150 astrofizycznych dyplomów magisterskich, 25 doktoratów i 14 habilitacji wychowanków toruńskiego ośrodka ze specjalnością „astrofizyka obserwacyjna”, 10 doktoratów i 2 habilitacje radioastronomiczne to plon astrofizycznych zakresów działalności naukowo-dydaktycznej CA. [www.ca.umk.pl](http://www.ca.umk.pl)

**Narodowe Centrum Badań Jądrowych** powstało 1 września 2011 r. w efekcie włączenia Instytutu Energii Atomowej POLATOM do Instytutu Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana. Zajmuje się badaniami podstawowymi z dziedziny fizyki subatomowej (fizyka cząstek elementarnych i jądrowa, fizyka plazmy gorącej itp.) oraz stosowaniem metod fizyki jądrowej i rozwijaniem technologii jądrowych. Produkuje także m.in. radiofarmaceutyki oraz urządzenia dla rozmaitych gałęzi nauki i gospodarki, w tym medycyny. Tworzy infrastrukturę informatyczną i laboratoryjną niezbędną dla wsparcia eksperckiego programu budowy energetyki jądrowej w Polsce. Jest jednym z największych instytutów naukowych w Polsce, dysponującym m.in. jedynym w Polsce jądrowym reaktorem badawczym Maria. Zatrudnia ponad 1000 fizyków, inżynierów i pracowników pomocniczych. Kadra naukowa NCBJ to ok. 70 profesorów i doktorów habilitowanych i ponad 120 doktorów. [www.ncbj.gov.pl](http://www.ncbj.gov.pl)

**Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku.** UwB jest największą i najprężniej rozwijającą się uczelnią publiczną w północno-wschodniej Polsce. Kształci prawie 14 tysięcy studentów na ponad 30 kierunkach. Potwierdzeniem jakości zajęć dydaktycznych na UwB jest fakt, że większość kierunków uzyskała pozytywną ocenę Polskiej Komisji Akredytacyjnej. Pięć wydziałów UwB: Prawa, Ekonomii i Zarządzania, Filologiczny, Historyczno-Socjologiczny oraz Biologiczno-Chemiczny prowadzi studia doktoranckie. Uniwersytet proponuje też bogatą ofertę specjalizacji na poszczególnych kierunkach i ponad 100 rodzajów studiów podyplomowych. [physics.uwb.edu.pl](http://physics.uwb.edu.pl)

**Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej** oferuje ponad 50-letnie doświadczenie w kształceniu studentów oraz prowadzeniu badań naukowych i technicznych. Posiada znaczący dorobek naukowy, badawczy i dydaktyczny, ściśle związany z najnowszymi technologiami informacyjnymi i komunikacyjnymi społeczeństwa XXI wieku. Kształci kadrę naukową, opracowuje patenty, wykonuje ekspertyzy, wdraża innowacyjne rozwiązania użytkowe, realizuje aplikacje przemysłowe i projekty międzynarodowe. [www.weka.pwr.edu.pl](http://www.weka.pwr.edu.pl)

**Instytut Astronomii Uniwersytetu Zielonogórskiego.** Na dorobek naukowy pracowników Instytutu Astronomii im. profesora Janusza Gila składa się 158 recenzowanych publikacji. Pracownicy Instytutu zajmują się głównie badaniem pulsarów. Dodatkowo prowadzone są badania z zakresy mechaniki nieba i kosmologii. W Instytucie zatrudnionych jest trzech profesorów zwyczajnych, trzech profesorów nadzwyczajnych oraz sześciu doktorów. Wszyscy pracownicy co roku publikują artykuły w renomowanych czasopiśmie, a wielu z nich zdobywa również prestiżowe granty i wyróżnienia. [astro.ia.uz.zgora.pl/](http://astro.ia.uz.zgora.pl/)

# Stany pod rękę z Europą

## czym są LIGO i Virgo

**R**ejestracja fal grawitacyjnych wywołanych zderzeniem dwóch czarnych dziur jest efektem pracy ponad 1300-osobowego zespołu naukowców skupionych w LIGO Scientific Collaboration składający się z GEO Collaboration, Australijskiego Konsorcjum Interferometrycznej Astronomii Grawitacyjnej (Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) oraz Virgo Collaboration, którego częścią jest polska grupa naukowa POLGRAW.

Powołanie Laserowego Obserwatorium Interferometrycznego Fal Grawitacyjnych – LIGO (Interferometer Gravitational-Wave Observatory) w celu wysłedzenia fal grawitacyjnych zostało zaproponowane w latach 80. XX wieku przez Rainera Weissa, emerytowanego profesora fizyki z MIT (Massachusetts Institute of Technology), Kipa Thorne'a, emerytowanego profesora fizyki teoretycznej z Caltech (California Institute of Technology) oraz emerytowanego profesora fizyki Ronalda Drevera, również z Caltech.

Finansowane przez National Science Foundation (NSF) obserwatoria LIGO (w Livingston w stanie Luizjana i Hanford w stanie Waszyngton w USA) zostały powołane do życia przez Caltech (Kalifornijski Instytut Technologiczny) i MIT (Instytut Technologiczny w Massachusetts). Udoskonalaniem działających w nich detektorów i analizowaniem danych zajmuje się ponad tysiąc naukowców z ponad 90 uniwersytetów w Stanach Zjednoczonych i 14 innych krajów. Wśród osób mających wkład w badania jest też około 250 studentów. Używana przez LSC sieć aparatury obejmuje interferometrię LIGO i detektor GEO600.

W GEO Collaboration pracują naukowcy z Instytutu Fizyki Grawitacyjnej Maxa Plancka (znanego też jako Instytut Alberta Einsteina – AEI), Uniwersytetu Leibniza w Hanowerze, z Uniwersytetu w Glasgow, Uniwersytetu w Cardiff, Uniwersytetu w Birmingham oraz innych brytyjskich uniwersytetów, a także z Uniwersytetu Wysp Balearskich w Hiszpanii.

Program badawczy Virgo jest realizowany przez Virgo Collaboration, składający się z ponad 250 fizyków i inżynierów należących do 19 zespołów badawczych z Europy. Są oni związani z Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) we Francji, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) we Włoszech, Nikhef w Holandii. Częścią Virgo są także grupy Wigner RCP z Węgier i POLGRAW z Polski oraz Europejskie Obserwatorium Grawitacyjne EGO (European Gravitational Observatory), na którego terenie niedaleko Pizy we Włoszech znajduje się detektor Virgo.

Detektor Virgo powstał dzięki wizjonerskiemu pomysłowi Alaina Brilleta i Adalberta Giazotta. Został on zaprojektowany przy zastosowaniu innowacyjnych technologii umożliwiających rozszerzenie czułości detektora na niskie częstotliwości. Budowa rozpoczęła się w 1994 roku dzięki środkom pochodzącym z CNRS i INFN.

Od 2007 r. Virgo i LIGO wspólnie zajmują się analizą danych zebranych przez interferometrię należące do międzynarodowej sieci badawczej. W trakcie prac nad unowocześnieniem detektorów LIGO, dane były rejestrowane przez Virgo do 2011 r. Później sytuacja się odwróciła – uruchomiono projekt Advanced Virgo, finansowany przez CNRS, INFN i Nikhef. Dzięki niemu nowy detektor zacznie działać jeszcze w tym roku.

Odkrycie fal grawitacyjnych w 2015 r. stało się możliwe dzięki unowocześnionej wersji detektora zwanej Advanced LIGO, która dysponuje instrumentami o znacznie większej czułości niż detektory pierwszej generacji,

umożliwiają obserwacje znacznie większych obszarów kosmosu. Głównym sponsorem Advanced LIGO jest amerykański fundusz nauki National Science Foundation, znaczne środki pochodzą też od Max Planck Society z Niemiec, Science and Technology Facilities Council (STFC) z Wielkiej Brytanii i Australian Research Council z Australii. Wiele technologii, które w sposób kluczowy przyczyniły się do zwiększenia czułości Advanced LIGO zostało opracowanych przez niemiecko-brytyjski zespół GEO Collaboration. Niezbędne do badań zaplecze komputerowe zostało w dużej części zapewnione przez AEI Hannover Atlas Cluster, Laboratorium LIGO, Uniwersytet w Syracuse oraz Uniwersytet w Wisconsin-Milwaukee. Wiele ośrodków uniwersyteckich uczestniczyło w projektowaniu, tworzeniu i testowaniu kluczowych elementów Advanced LIGO. Są to Australijski Uniwersytet Narodowy, Uniwersytet w Adelajdzie, Uniwersytet Florydy, Uniwersytet Stanforda, Uniwersytet Columbia w Nowym Jorku i Uniwersytet Stanowy w Luizjanie. ☉

*[www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)*

## Kontakt dla mediów

Biuro Upowszechniania i Promocji Nauki  
Polska Akademia Nauk

tel. 505 463 138

materiały do pobrania: [www.konferencja.pan.pl](http://www.konferencja.pan.pl)