

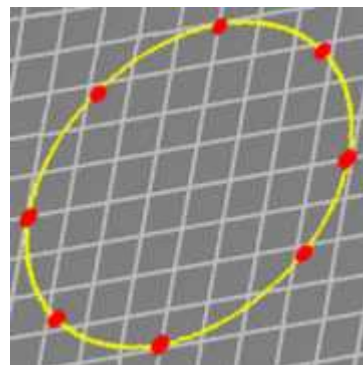
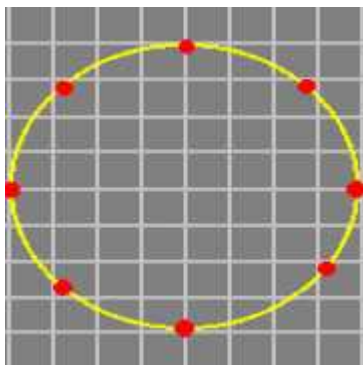
O detekcji fal grawitacyjnych

Tomasz Bulik

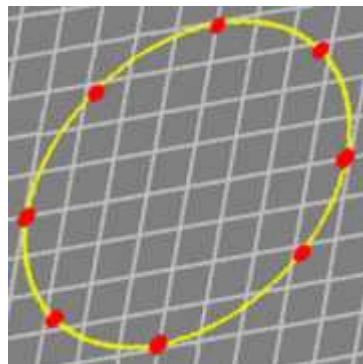
*Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Warszawski*

Fala grawitacyjna

Polaryzacja liniowa



Polaryzacja kolowa



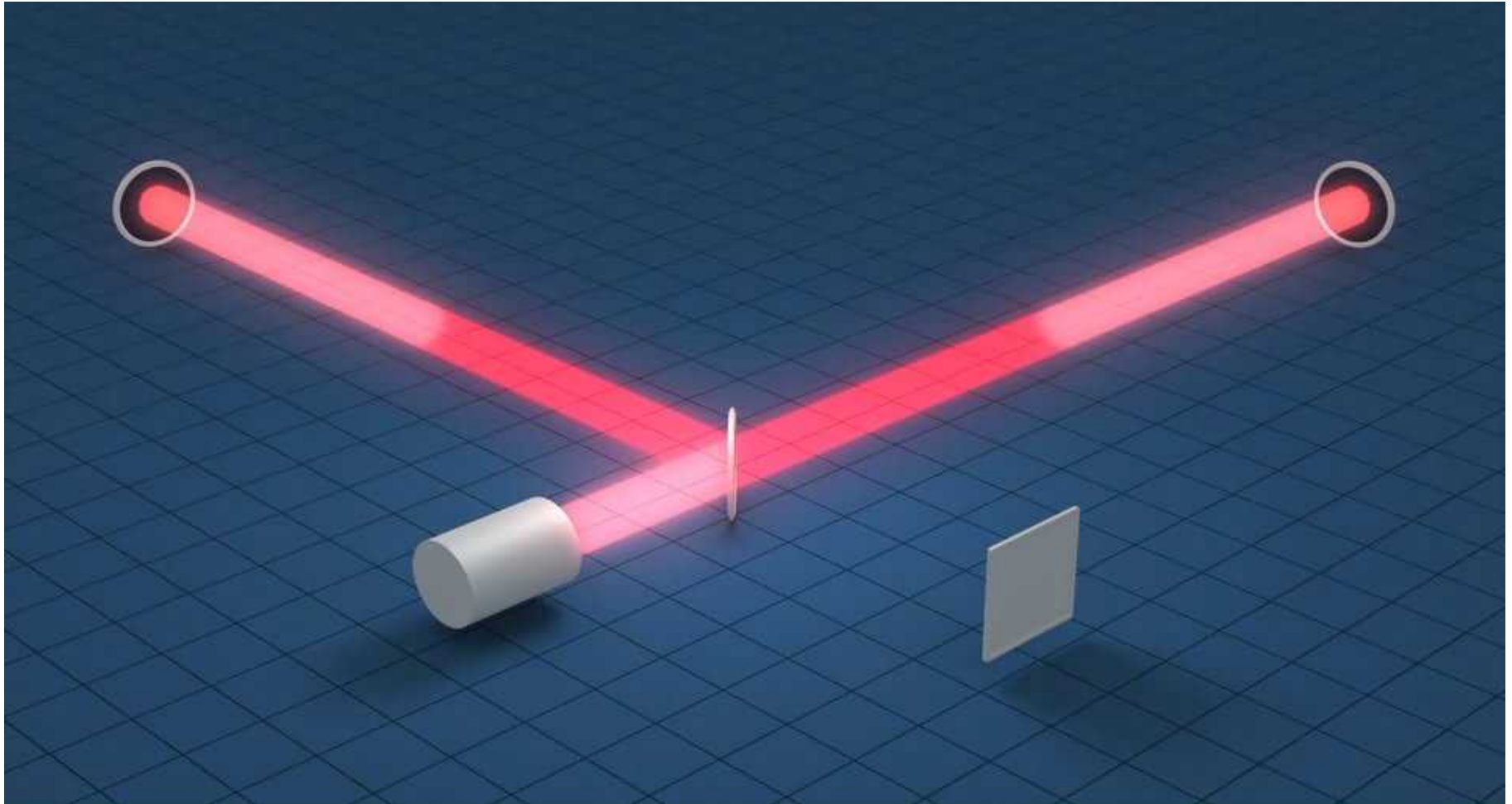
Jak je wykryć?

- Detektory rezonansowe

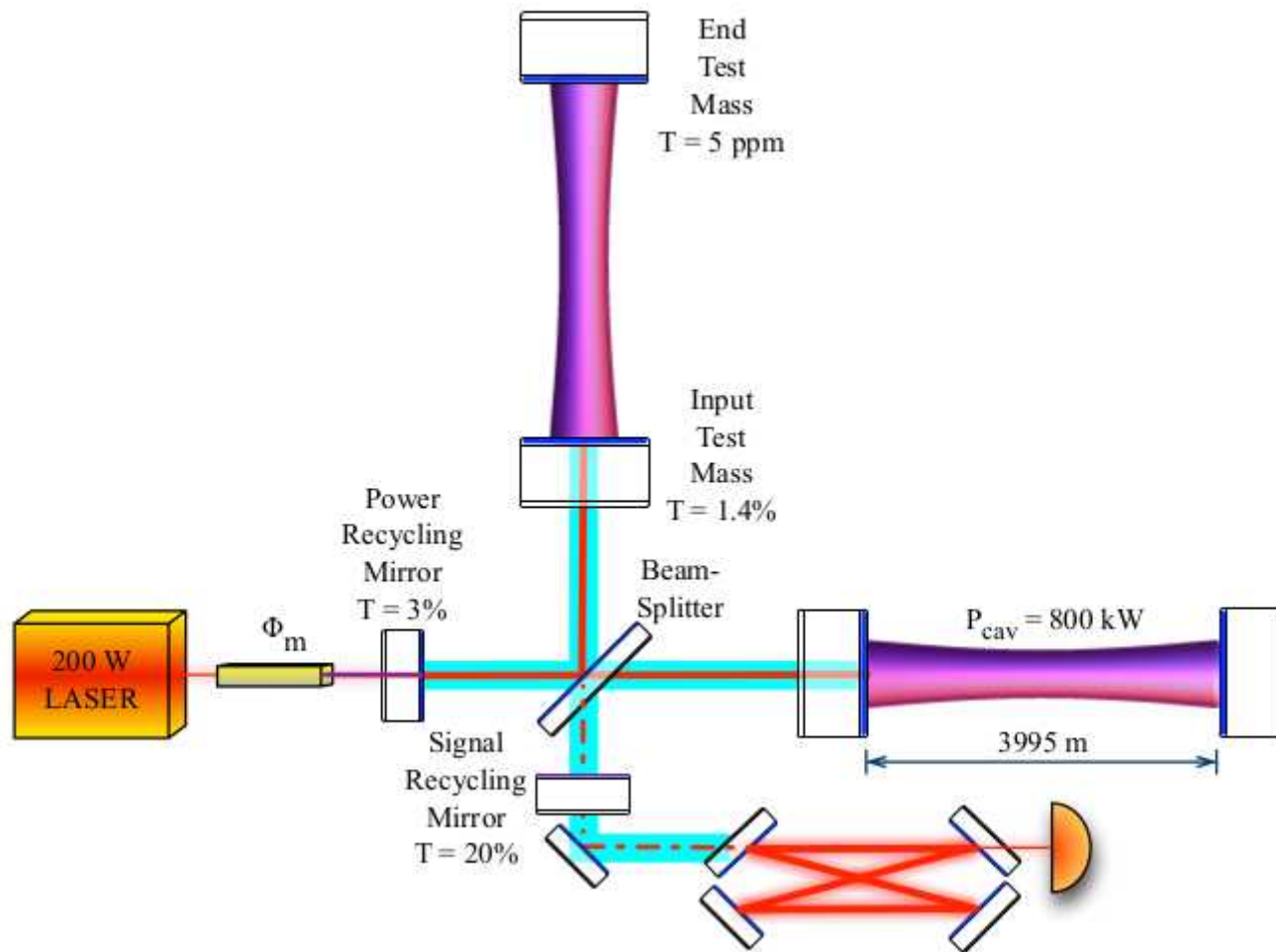


- Interferometry

Interferometr



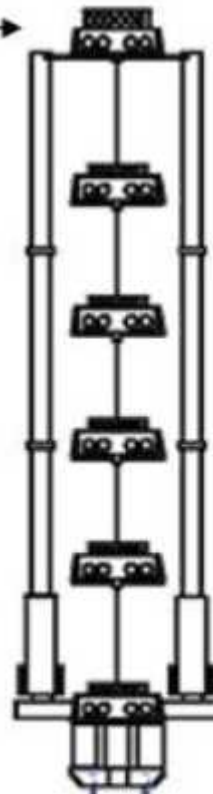
Second generation interferometers



Ale to nie takie proste

- Szumy:
 - Szum sejsmiczny
 - Szum Newtownowski
 - Szum termiczny
 - Szum kwantowy – fluktuacje ilości fotonów
 - Szum magnetyczny

Szum sejsmiczny



Szum Newtonowski



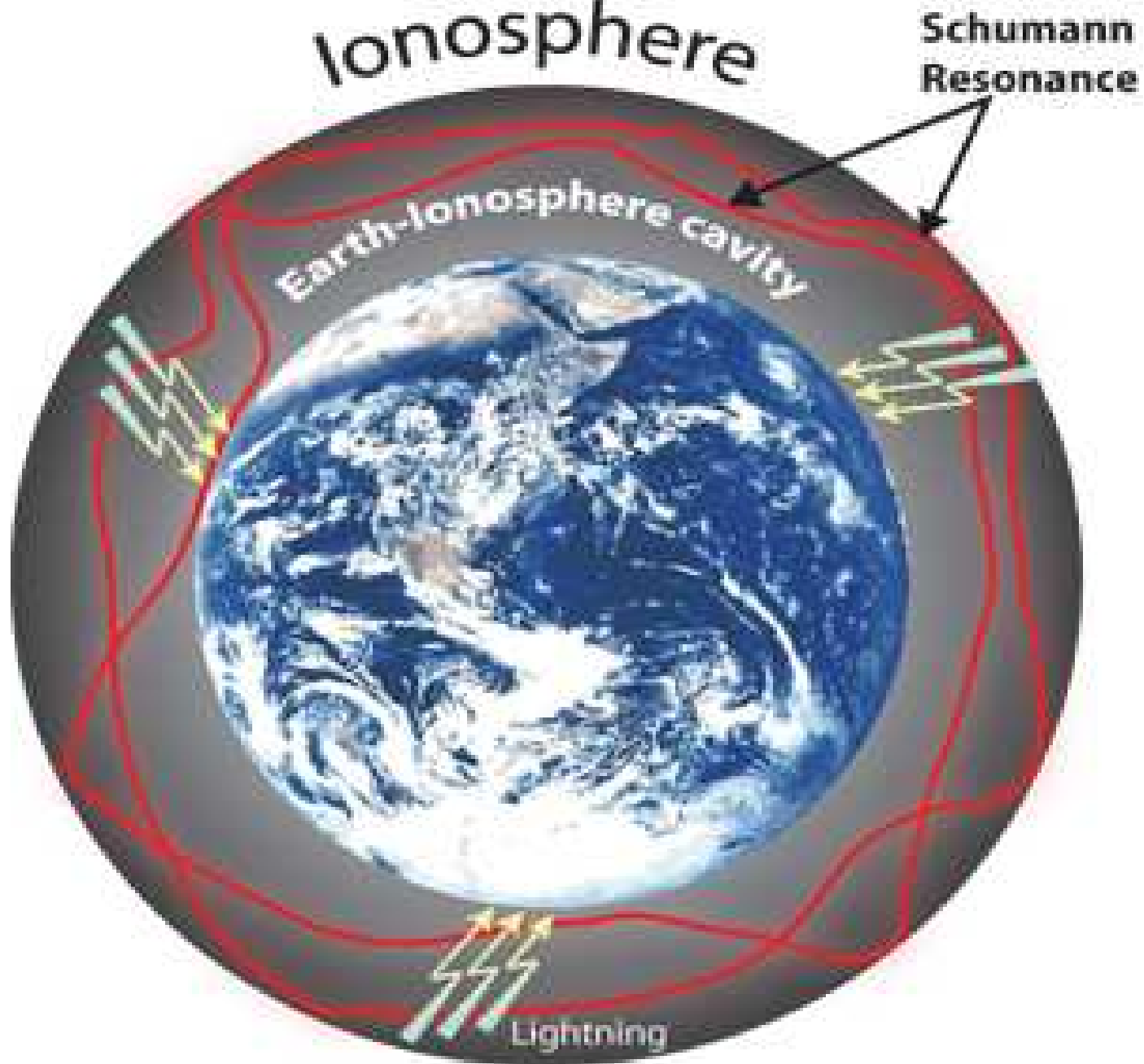
Szum kwantowy

- Światło to strumień fotonów
- Ilość fotonów na jednostkę czasu podlega fluktuacjom
- Fluktuacje – sygnał
- Fluktuacje – podbijanie luster

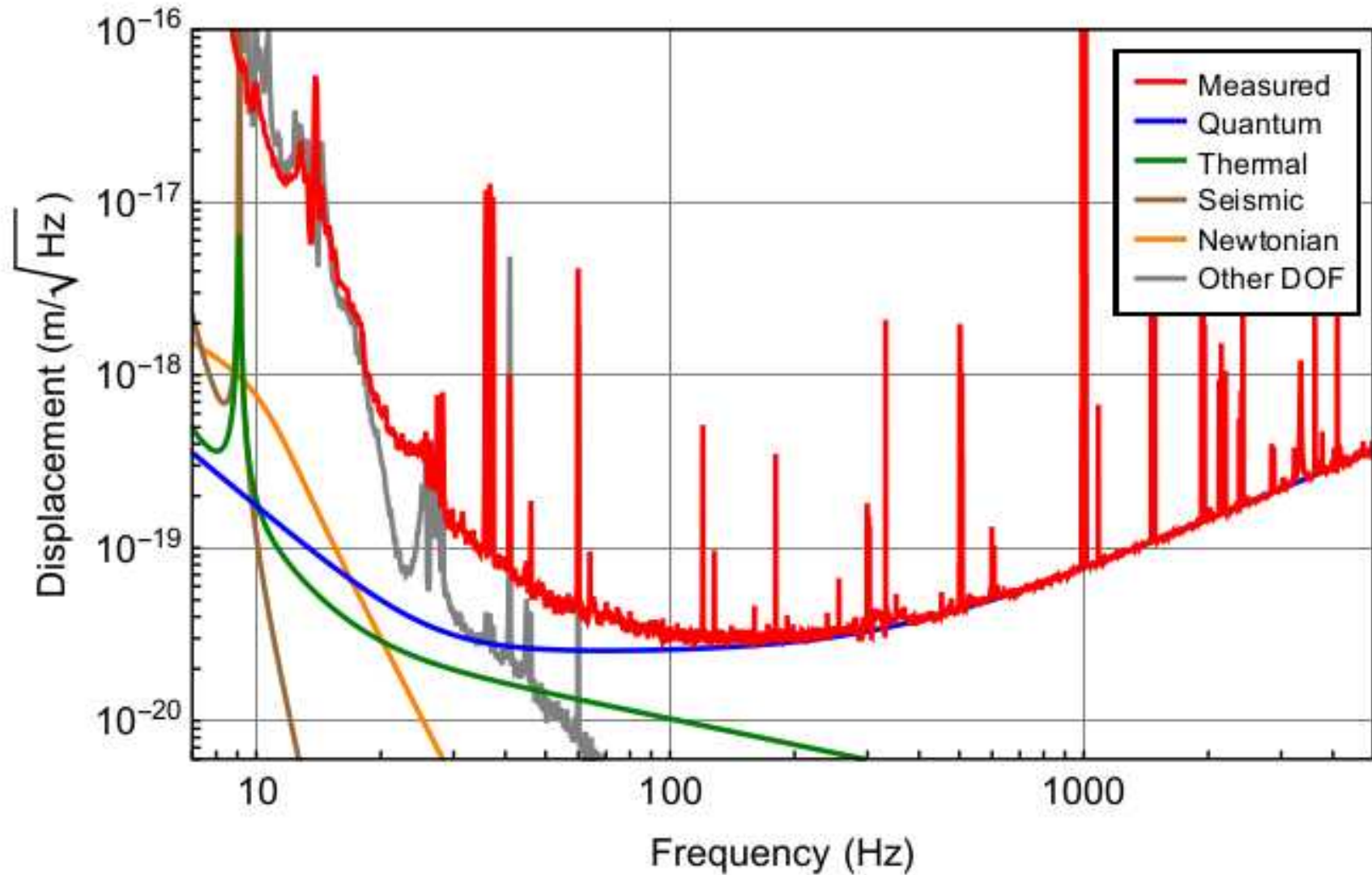
Szum kwantowy



Sum magnetyczny

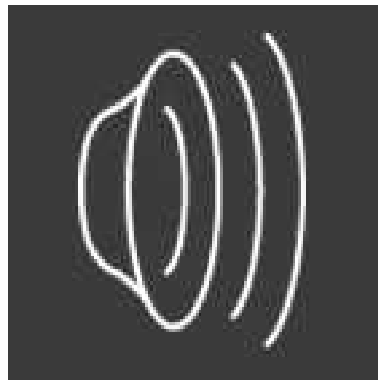


Czułość instrumentu



Oczekiwany sygnał

Koalescencja dwóch obiektów zwartych –
czarne dziury lub gwiazdy neutronowe



Oczekiwana amplituda

$$R_g = 2 \frac{GM}{c^2}$$

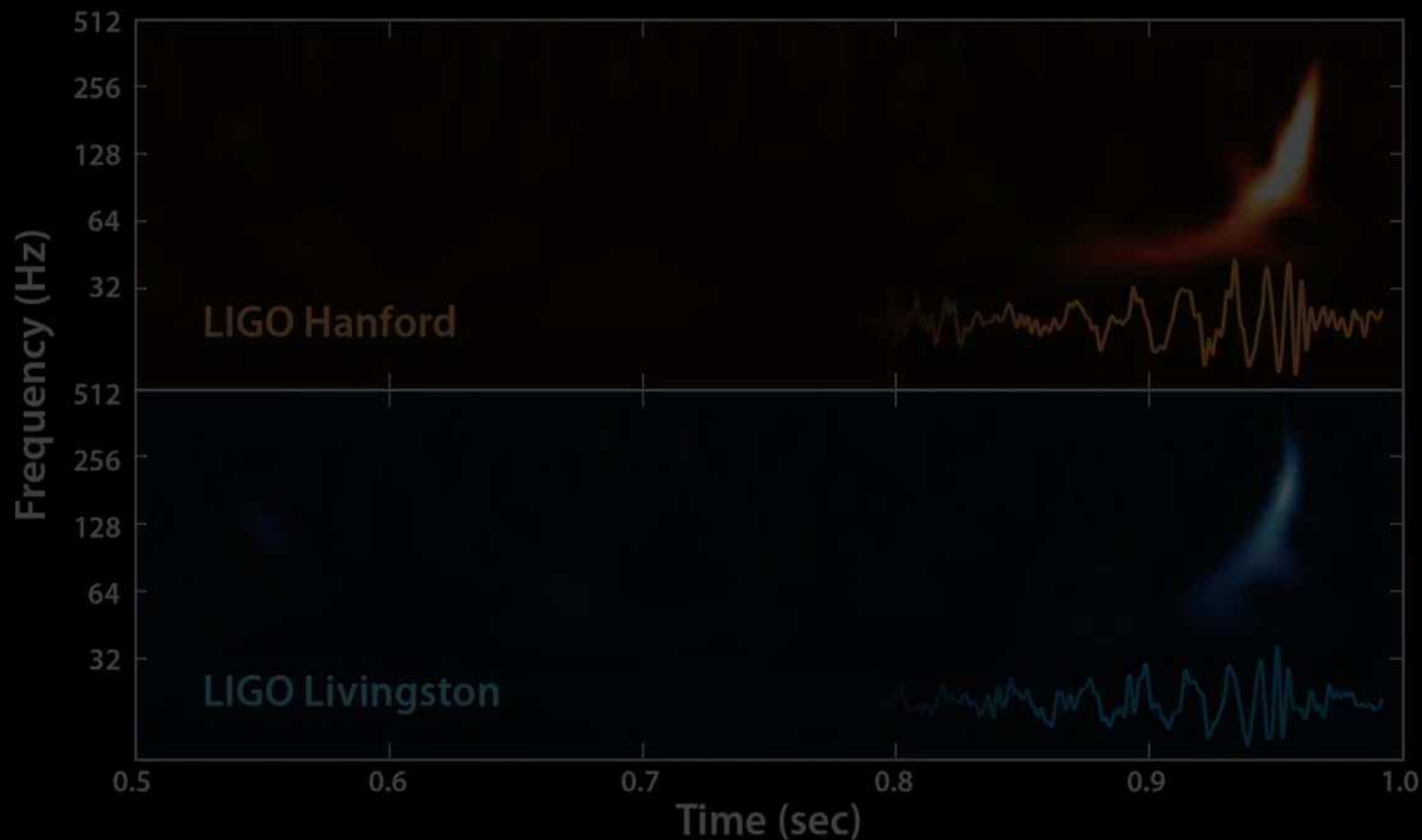
Promień grawitacyjny źródła

$$h \approx \frac{R_g}{D} \frac{v^2}{c^2}$$

$$M = 60M_{\odot} \quad D = 400\text{Mpc} \quad v = 0.2c$$

$$h \approx \frac{R_g}{D} \frac{v^2}{c^2} \approx 2 \times 10^{-21}$$

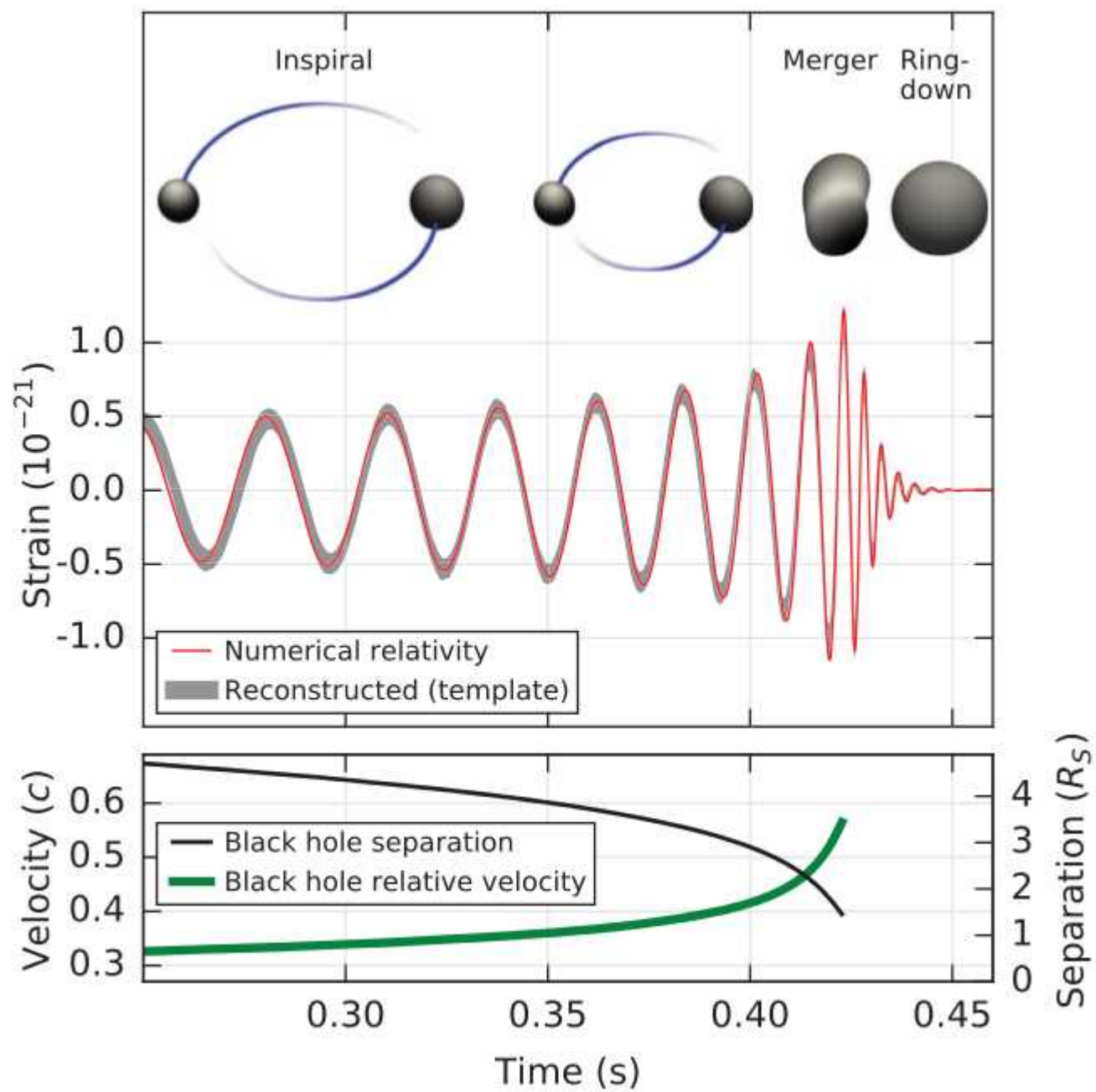
Obserwacja GW150914



Co to jest?

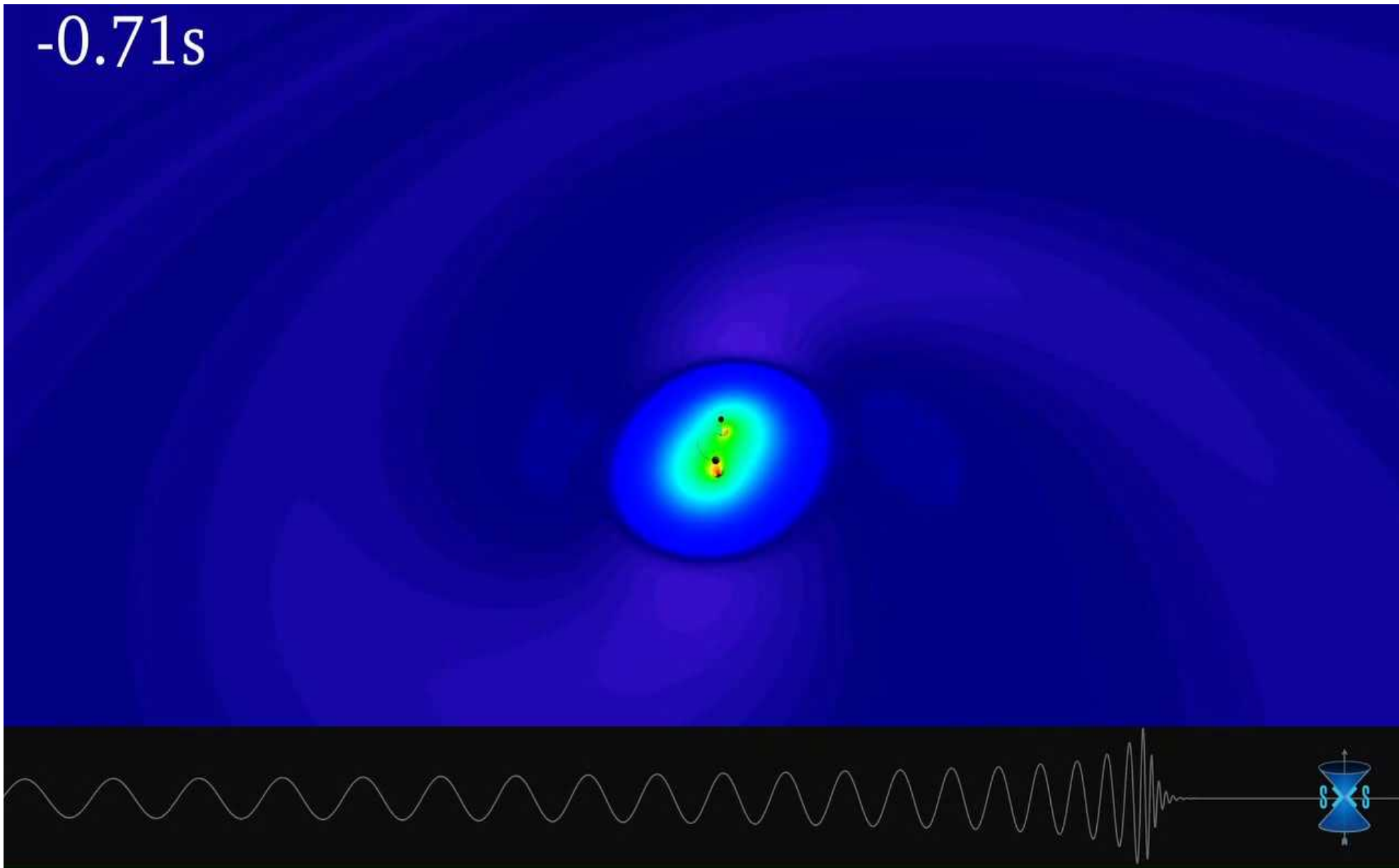
Połączenie dwóch czarnych dziur, o masach 29 i 36 mas Słońca

Odległość około 400 Mpc, czyli 1.2 miliarda lat świetlnych



Połączenie czarnych dziur

-0.71s



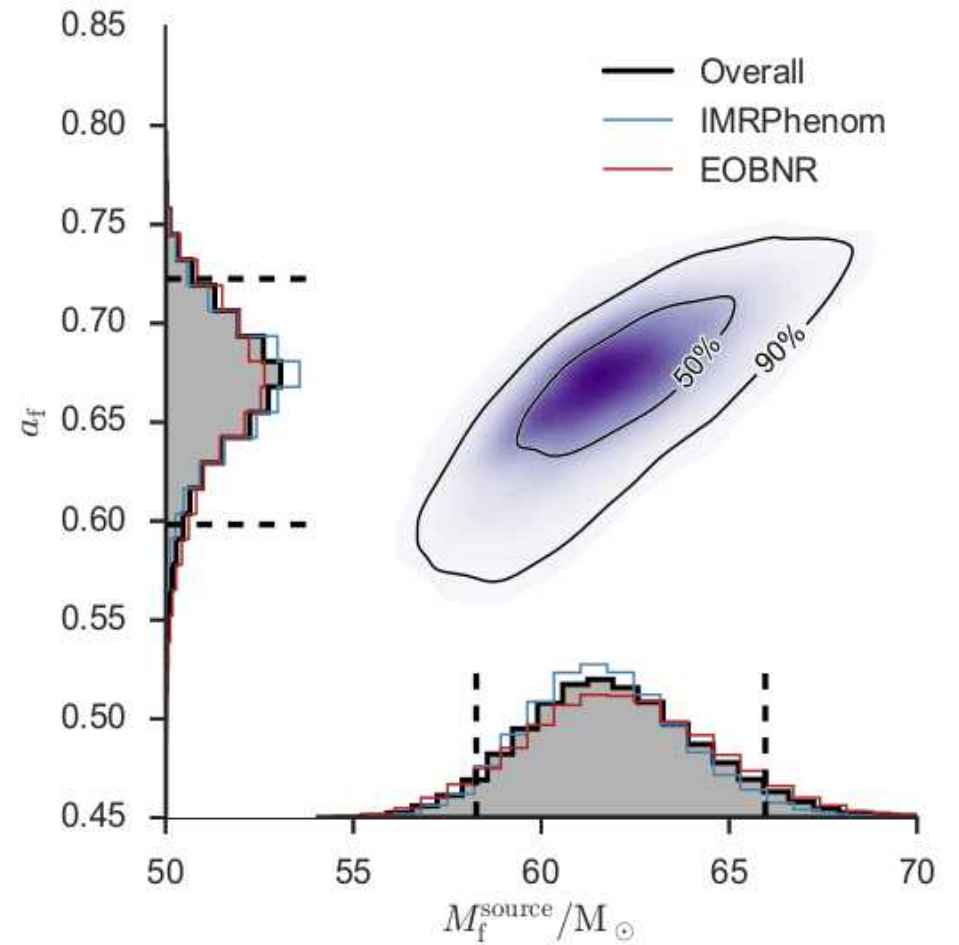
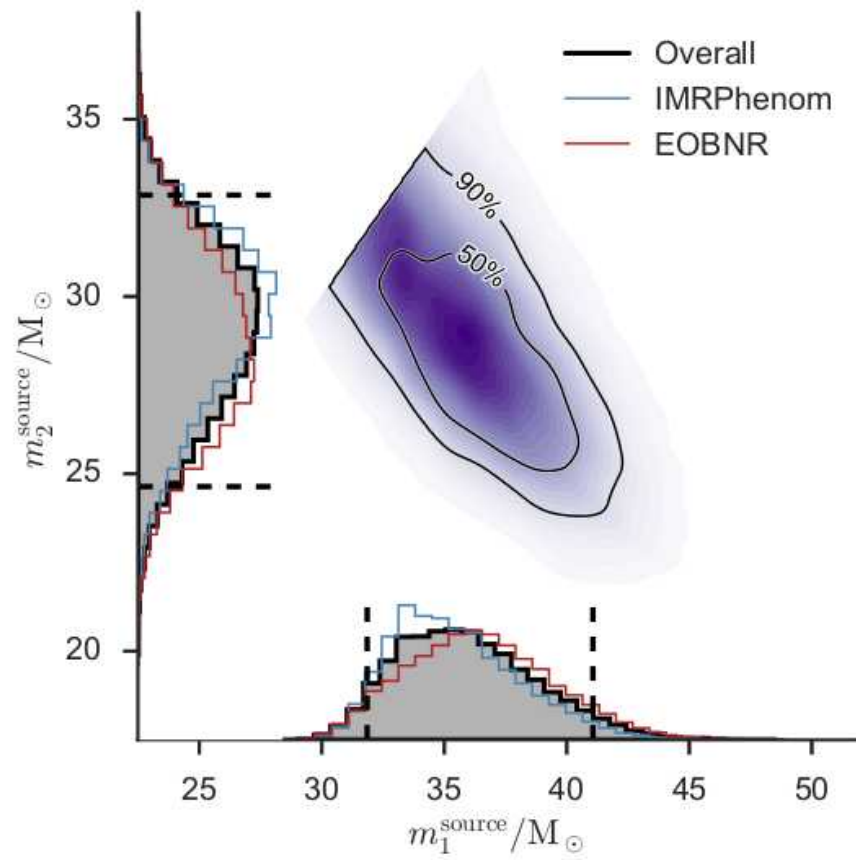
Skąd wiemy?

- Podwójna czarna dziura

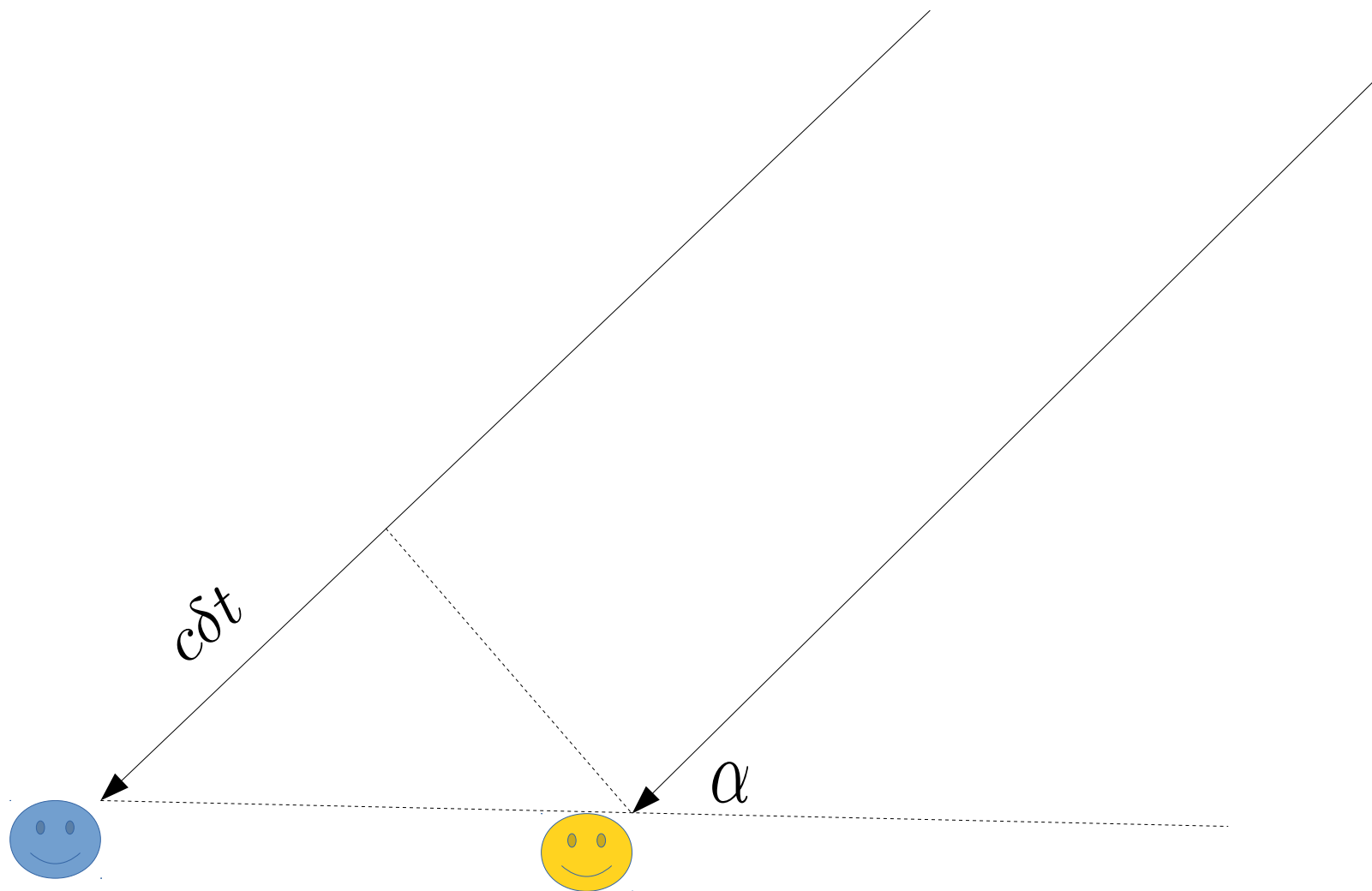
Primary black hole mass	$36^{+5}_{-4} M_{\odot}$
Secondary black hole mass	$29^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole mass	$62^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole spin	$0.67^{+0.05}_{-0.07}$
Luminosity distance	$410^{+160}_{-180} \text{ Mpc}$
Source redshift z	$0.09^{+0.03}_{-0.04}$

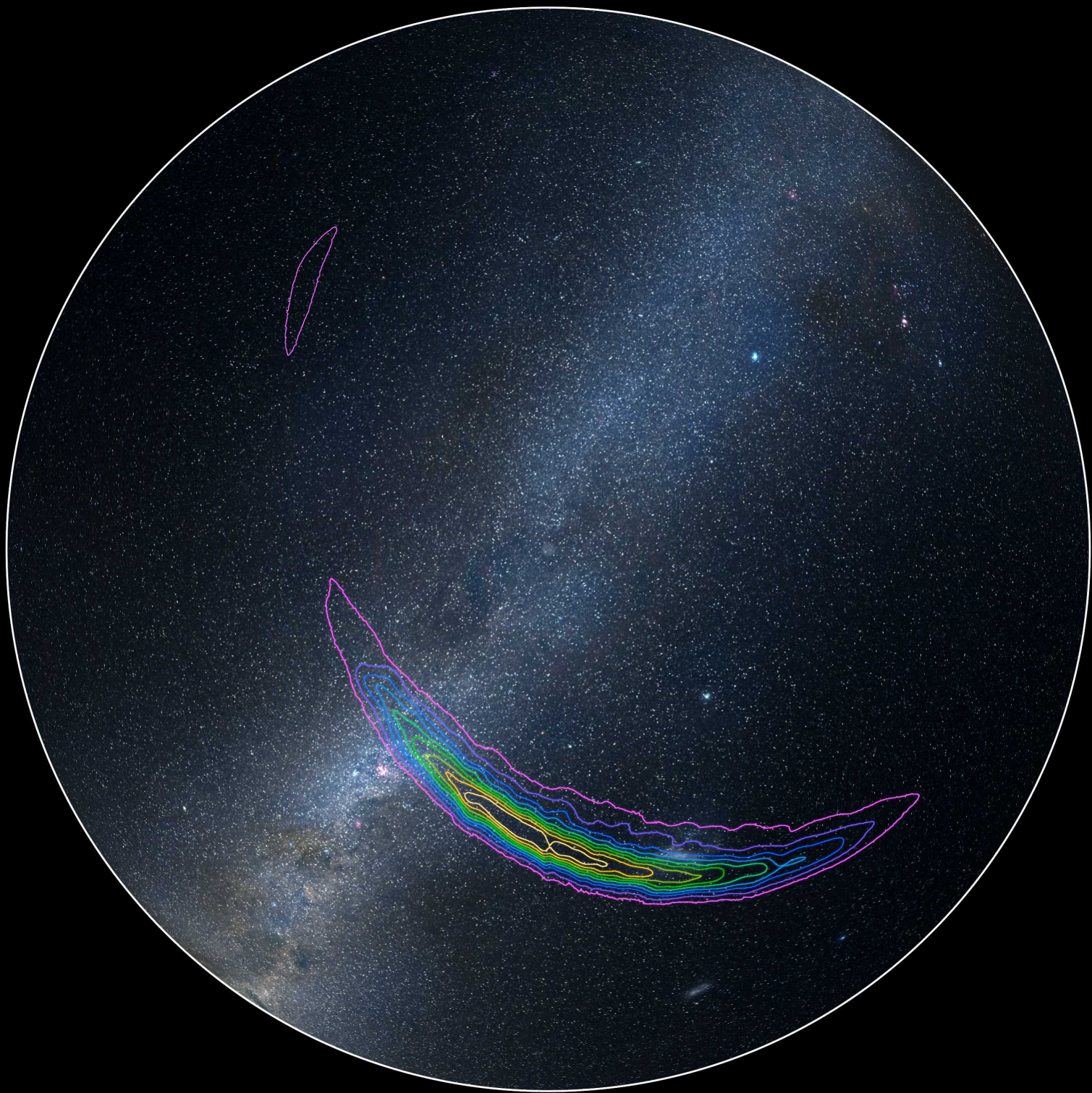
How do we know it?

Masy

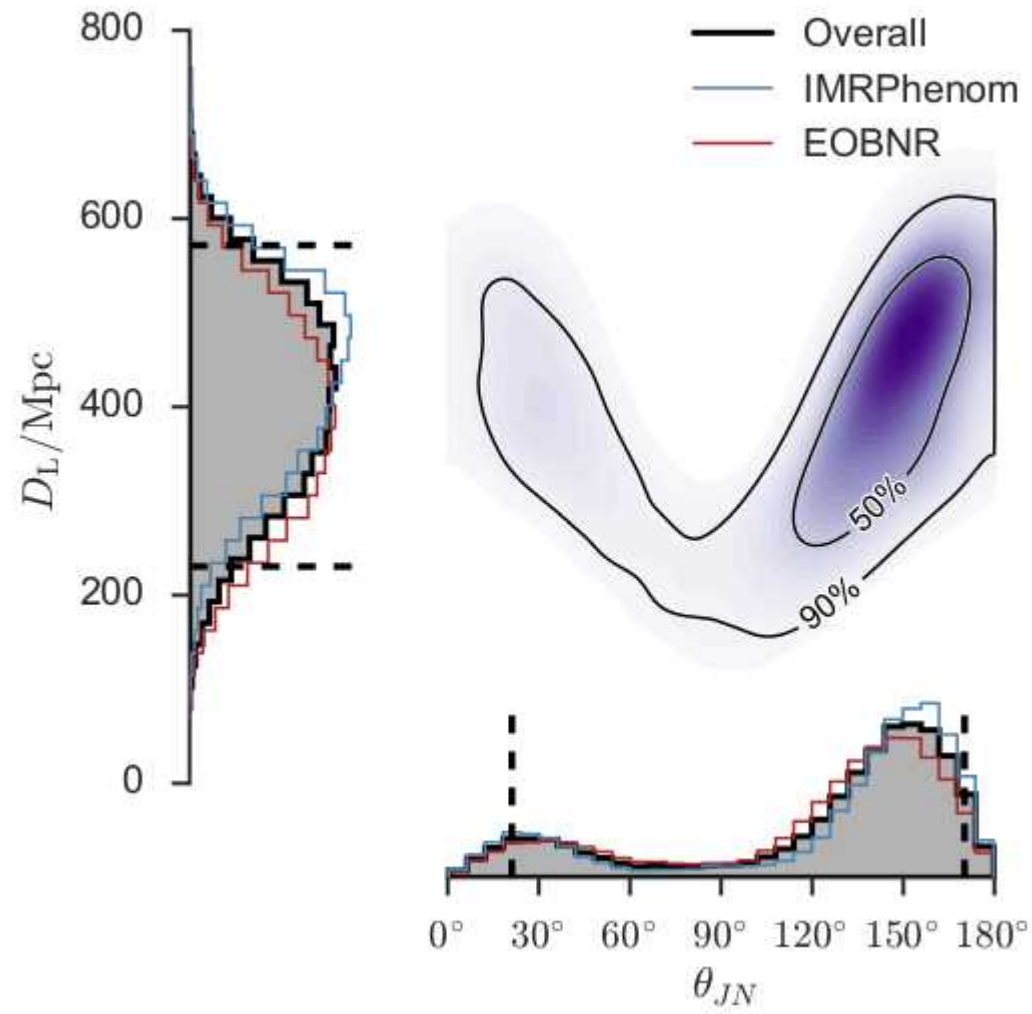


Położenie na niebie





Odległość i ustawienie



Co tu jest rewolucyjnego?

- Pierwsza detekcja fal grawitacyjnych
- Pierwsze potwierdzenie istnienia czarnych dziur
- Pierwszy wykryty układ podwójny czarnych dziur
- Pierwsza detekcja czarnych dziur o masach ~ 30 i 60 mas Słońca
- Pierwsze potwierdzenie OTW dla silnych pól grawitacyjnych
- Najjaśniejsze zjawisko na niebie kiedykolwiek obserwowane przez człowieka

$$L_{GW} = 200^{+30}_{-20} M_{\odot} s^{-1} = 3.6^{+0.5}_{-0.4} \times 10^{49} W$$

Początek nowej dziedziny astronomii

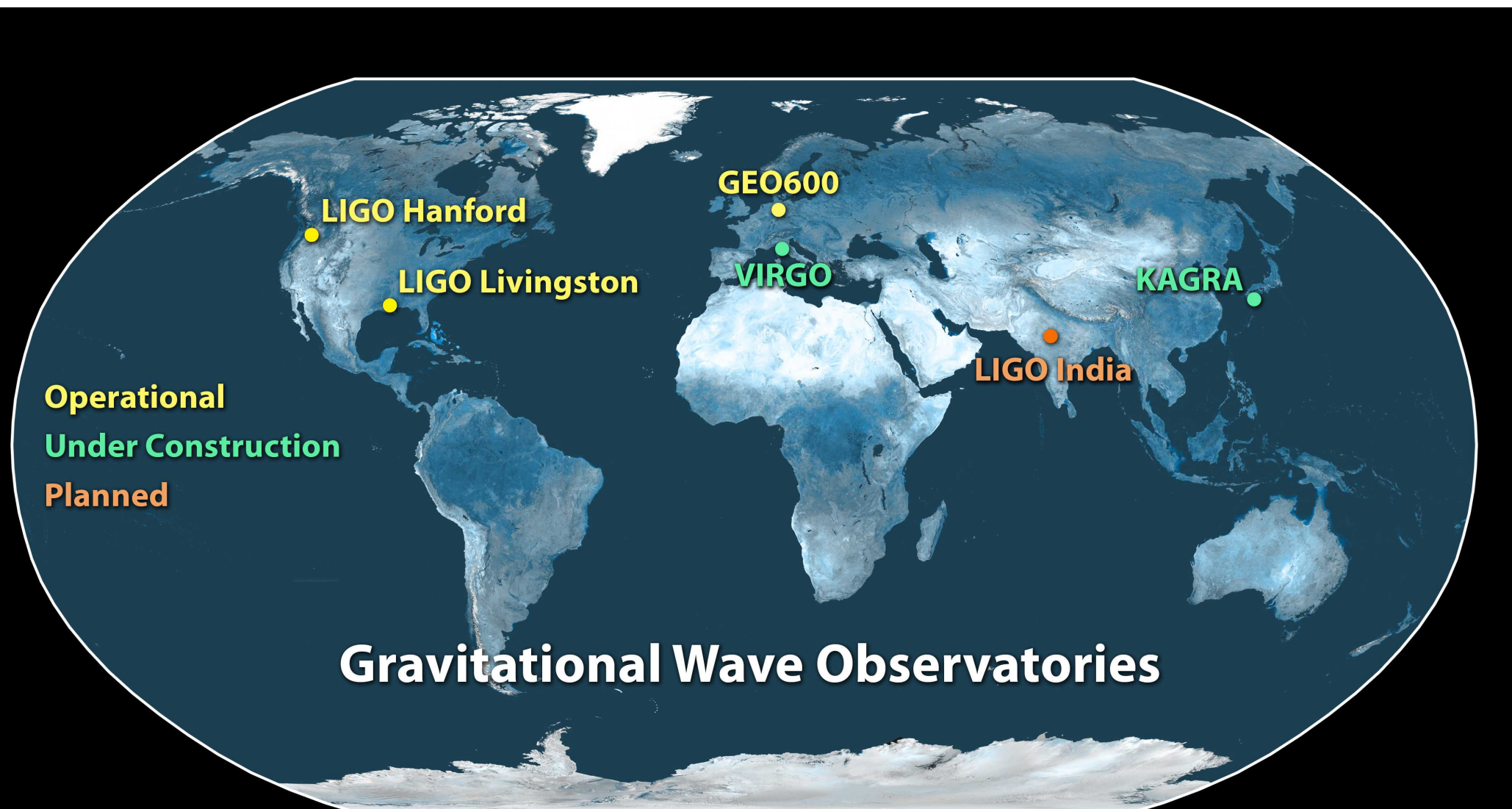
- Możliwość spojrzenia na horyzont czarnych dziur
- Możliwość obserwacji wnętrza supernowych
- Możliwość dotknięcia Wielkiego Wybuchu
- Testowanie granic stosowalności OTW!
- I wiele innych



Następne kroki

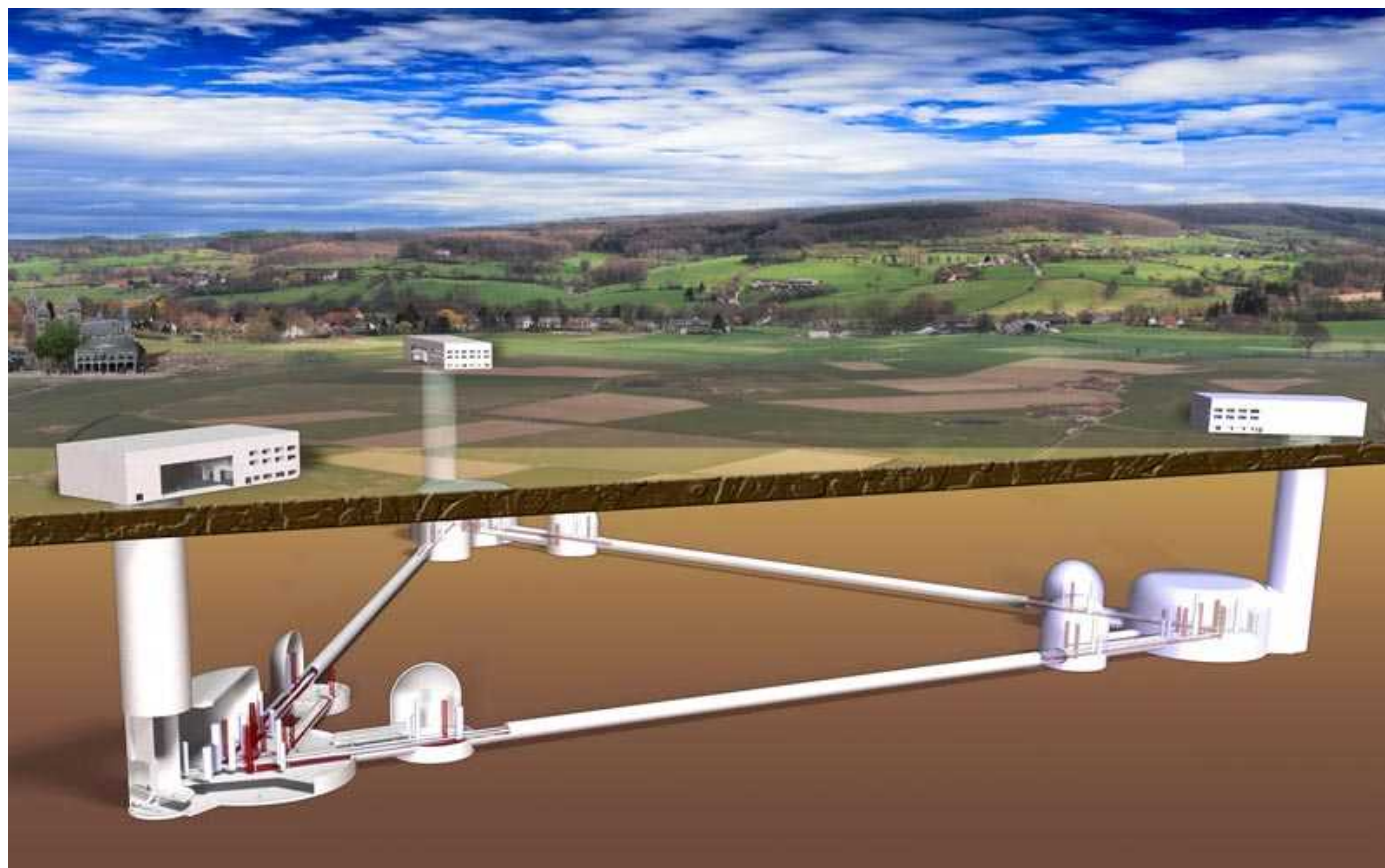
- Mamy w zanadrzu jeszcze więcej danych...
- Kolejna runda obserwacji – już tego lata
- Zwiększona czułość – większy zasięg i objętość
- Dokładniejsze pomiary

Sieć obserwatoriów



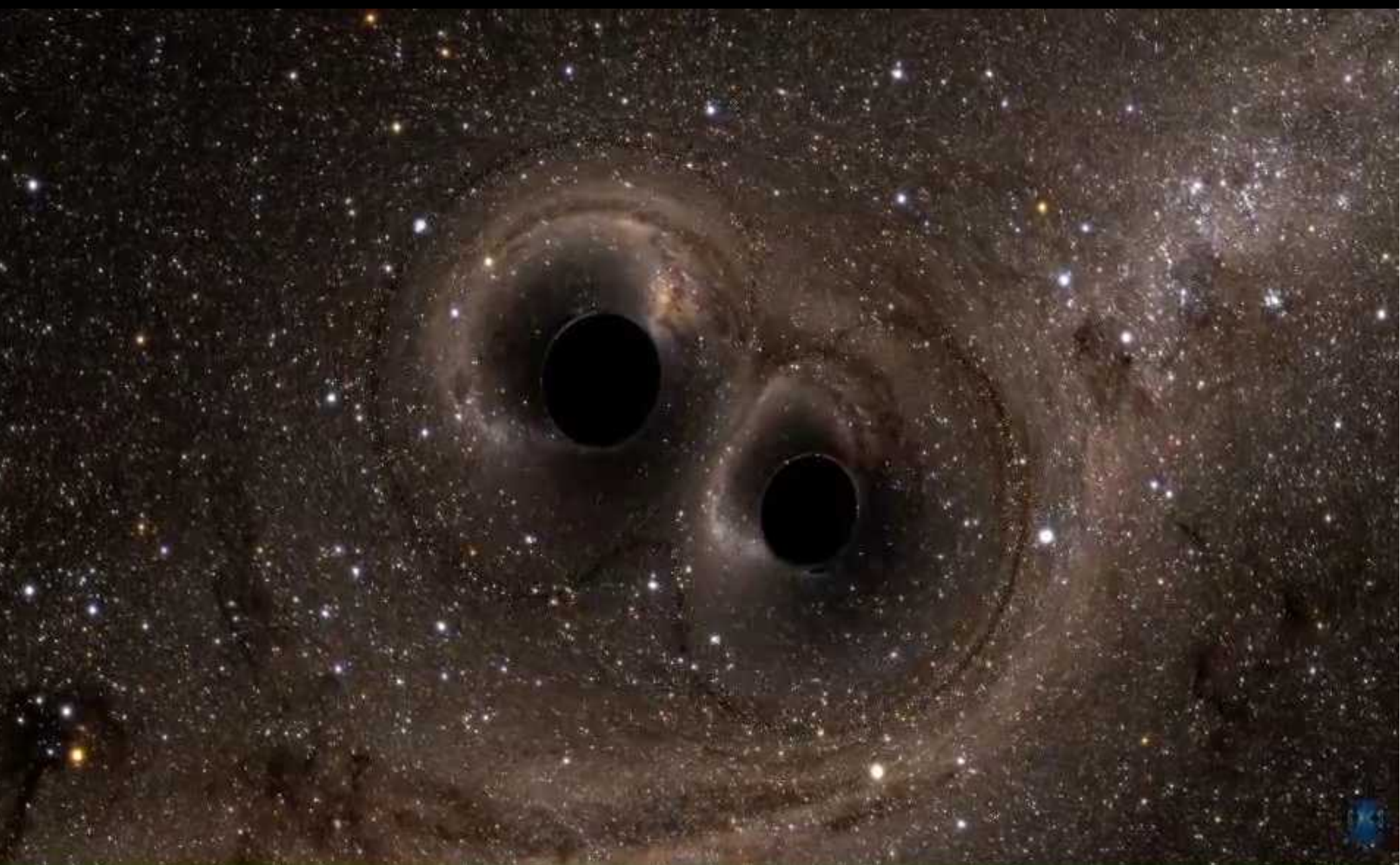
Dalsza Przyszłość

- Cosmic Explorer
- Einstein Telescope
- LISA
- BBO
- DECIGO

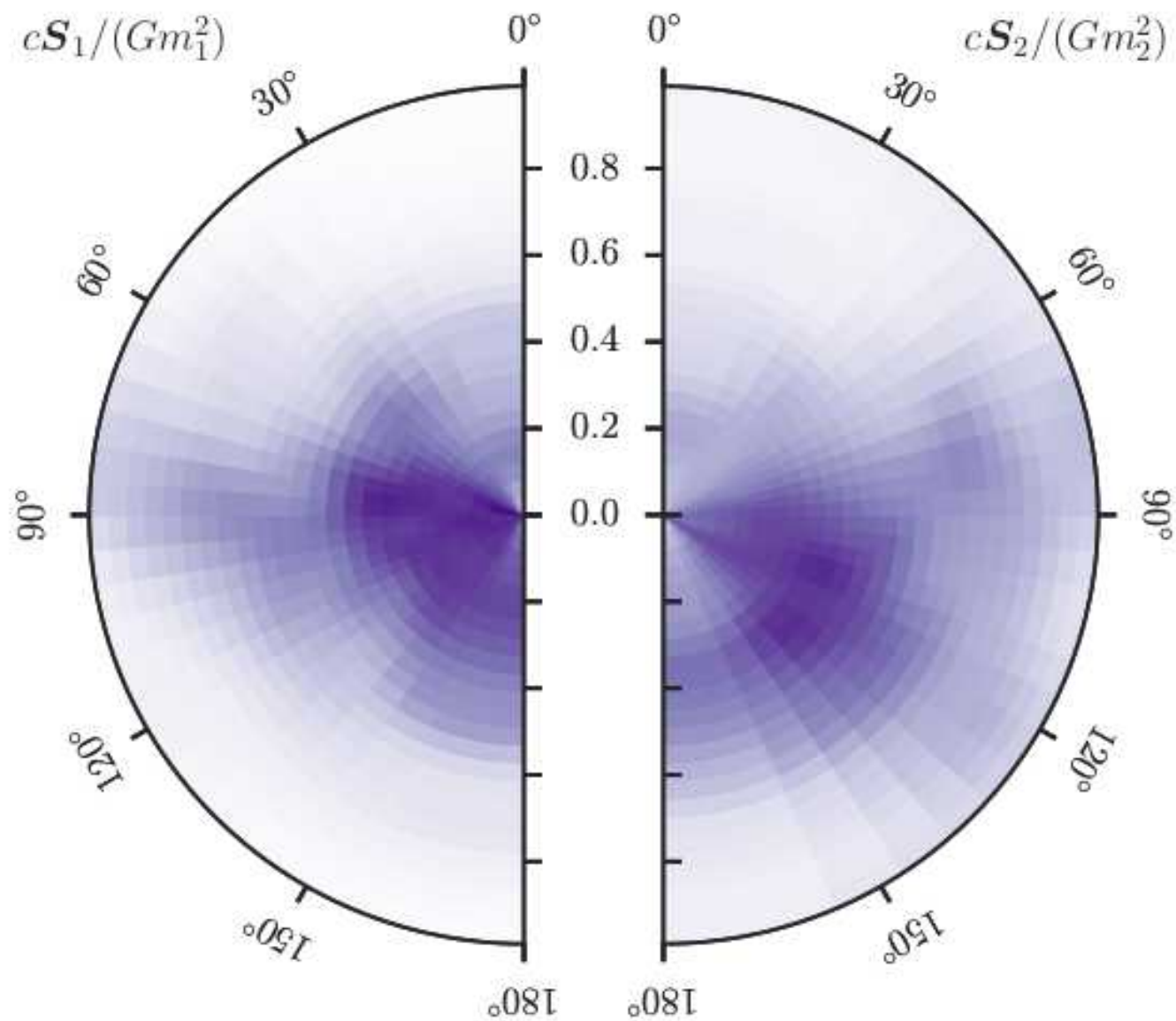


Podsumowanie

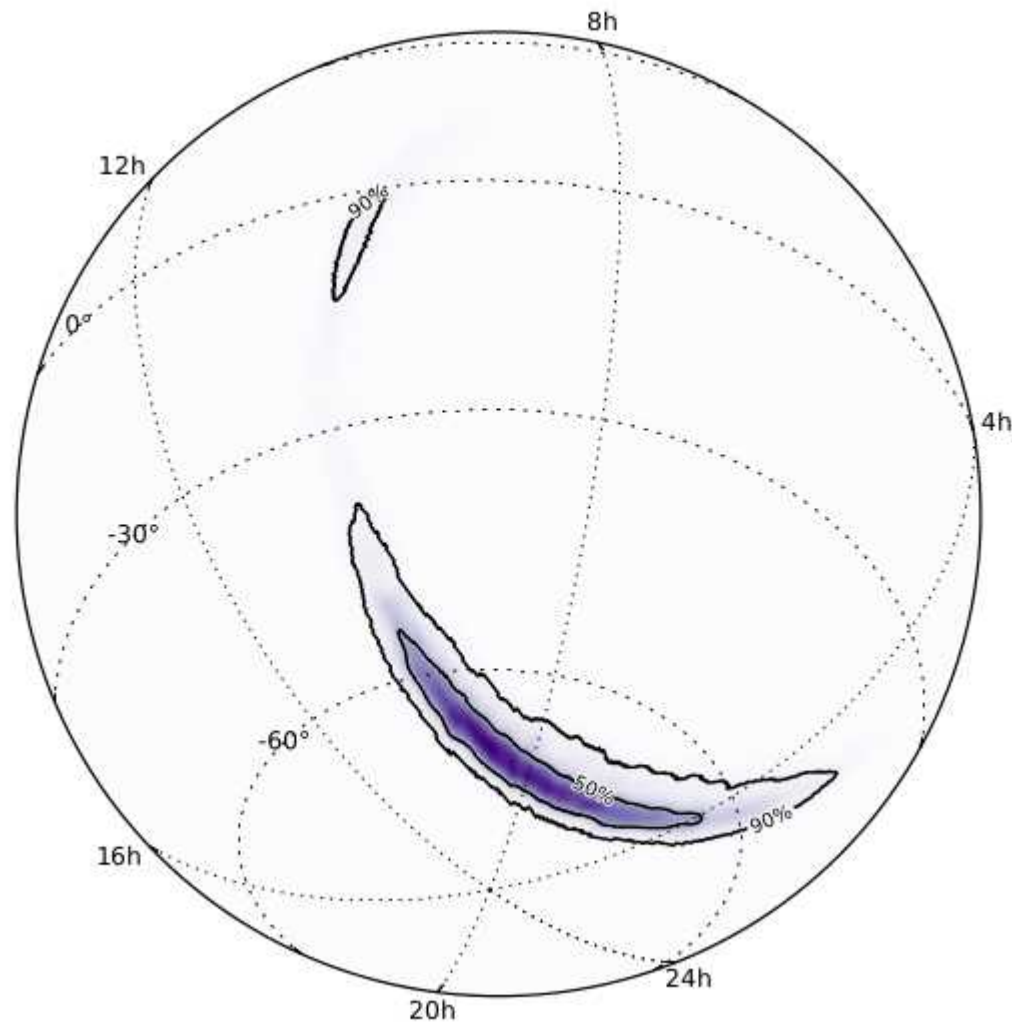
- Przed nami – Wami – nowa astronomia
- Oczekujemy wielu fascynujących odkryć
- Rozwój nauki, technologii, fizyki
- Czy i gdzie jest granica stosowalności OTW?



Spins



Localization

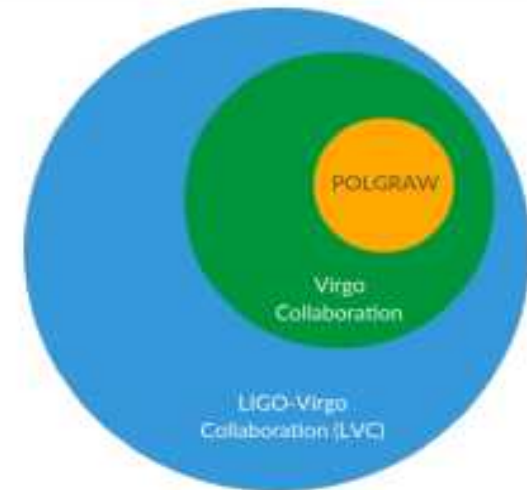


140 deg²
50% confidence

590 deg²
90% confidence

Virgo-POLGRAW

- ★ prof. dr hab. Andrzej Królak (IM PAN), lider grupy
- ★ dr hab. Michał Bejger (CAMK PAN)
- ★ prof. dr hab. Krzysztof Belczyński (OAUW)
- ★ dr Arkadiusz Błaut (IFT UWr)
- ★ dr Kazimierz Borkowski (CA UMK)
- ★ prof. dr hab. Tomasz Bulik (OAUW)
- ★ dr Paweł Ciecieląg (CAMK PAN)
- ★ dr Orest Dorosh (NCBJ)
- ★ prof. dr hab. Piotr Jaranowski (WF UwB)
- ★ dr Izabela Kowalska-Leszczynska (OAUW)
- ★ mgr inż. Adam Kutynia (WE PWr)
- ★ dr Maciej Piętka (kiedyś WF UwB)
- ★ dr hab. Dorota Rosińska (IA UZ)
- ★ mgr Magdalena Sieniawska (CAMK PAN)
- ★ dr Adam Zdrożny (NCBJ)



- ★ Virgo-POLGRAW: 15 członków grupy (9 na liście autorów).
- ★ Współpraca Virgo: 250.
- ★ LIGO Scientific Collaboration: >1000.



Instytut Matematyczny
Polskiej Akademii Nauk



UNIwersytet
ZIELONOGÓRSKI



UNIwersytet
WARSZAWSKI



Narodowe
Centrum
Badań
Jądrowych
Świerk



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU



Uniwersytet
Wrocławski

Wkład grupy POLGRAW w odkrycie GW150914

- ★ Podstawy algorytmów i metod służących do wykrywania i estymacji parametrów fal grawitacyjnych z układów podwójnych (**Andrzej Królak, Piotr Jaranowski**)
- ★ Modelowanie sygnału fali grawitacyjnej z układu podwójnego (**Piotr Jaranowski, Andrzej Królak**)
- ★ Przewidywania dotyczące częstości występowania sygnałów z układów podwójnych czarnych dziur (**Krzysztof Belczyński, Tomasz Bulik**)
- ★ Astrofizyczne własności układów podwójnych (**Michał Bejger, Izabela Kowalska-Leszczyńska, Dorota Rosińska**)
- ★ Poszukiwania towarzyszącego błysku optycznego (**Adam Zadrożny**)
- ★ Działalność w zarządzie projektu Virgo i Komisji Analizy Danych konsorcjum LIGO-Virgo (**Andrzej Królak**)
- ★ Działalność w Komitecie Przeglądu Prac (**Tomasz Bulik**)
- ★ Weryfikacja kodów numerycznych, użytych do analizy danych (**Michał Bejger**)
- ★ Wewnętrzne recenzje prac przedstawiających odkrycie (**Andrzej Królak**)