

Poszukiwanie ciągłych fal grawitacyjnych w danych z detektora rezonansowego

Projekt ICM
G17-2

P. Astone¹, K.M. Borkowski², P. Jaranowski³, A. Królak⁴, M. Piętka^{3*}

¹Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN, Rzym, Włochy

³Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet w Białymstoku

*e-mail: map@alpha.uwb.edu.pl

²Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń

⁴Instytut Matematyczny PAN, Warszawa

FALE GRAWITACYJNE

- ✓ Zaburzenia krzywizny czasoprzestrzeni, rozchodzące się z prędkością światła. Przewidziane przez ogólną teorię względności Einsteina
- ✓ Spodziewamy się wykryć promieniowanie ze źródeł kosmicznych (np. zlewające się ciasne układy podwójne, wybuchy supernowych)
- ✓ Dotąd nie udało się bezpośrednio zarejestrować fali grawitacyjnej (niezwykle słaba amplituda)

CZEGO SZUKAMY?

- ✓ Szukamy ciągłych fal grawitacyjnych, które mogą być emitowane przez wirujące gwiazdy neutronowe o rozkładzie masy różnym od osiowosymetrycznego
- ✓ Dane pochodzą z włoskiego detektora rezonansowego Explorer. Czułość w wąskim paśmie 921,00 – 921,76 Hz
- ✓ Nie znamy z góry ani położenia źródła na niebie, ani dokładnej charakterystyki sygnału
- ✓ W ciągu danych doświadczalnych ewentualny sygnał byłby ukryty w szumie (różnego pochodzenia). Wymaga to użycia statystycznych metod analizy danych



Detektor Explorer (laboratoria CERN pod Genewą), zbudowany i eksploatowany przez włoską grupę badawczą ROG z Narodowego Instytutu Fizyki Jądrowej w Rzymie (INFN). Serce detektora: 2,3 - tonowy walec z aluminium, zawieszony poziomo na tytanowej linie. Przechodząca fala grawitacyjna o odpowiedniej częstotliwości pobudza walec do drgań sprężystych, które próbuje się zarejestrować. Amplituda drgań jest tak mała, że walec musi być izolowany mechanicznie od podłoża i utrzymywany w niskiej temperaturze (tutaj 2,6 K)

Fot. CERN



Schematyczny przekrój przez gwiazdę neutronową. Gwiazda może wirować wokół osi z okresem milisekund. Na twardej skorupie otaczającej gwiazdę mogą występować nieregularności powierzchni – „góry”, których wysokość nie przekracza kilku milimetrów. Nawet tak drobne odstępstwa od osiowej symetrii mogą być źródłem fali grawitacyjnej, dzięki niezwykle silnemu polu grawitacyjnemu przy powierzchni gwiazdy i dużej prędkości obrotowej

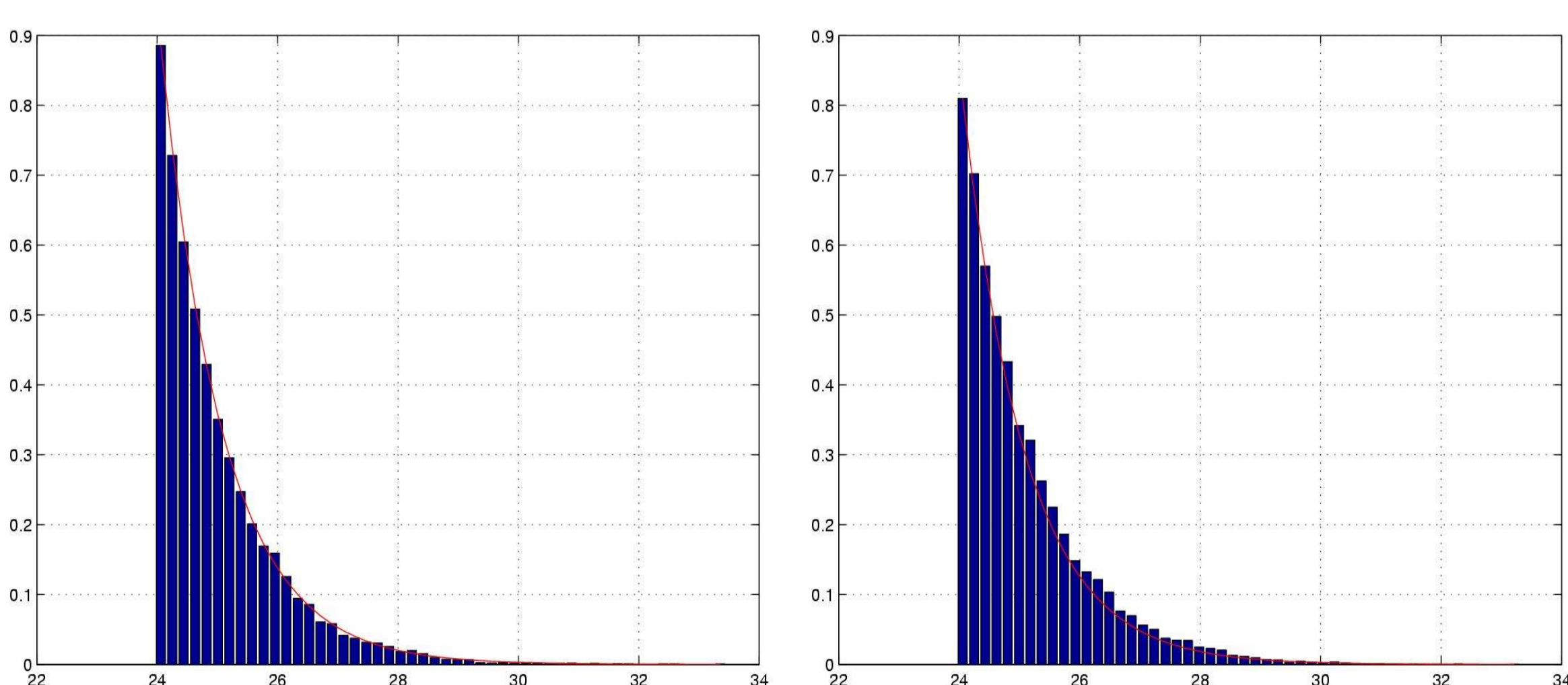
Rys. NASA

ANALIZA DANYCH

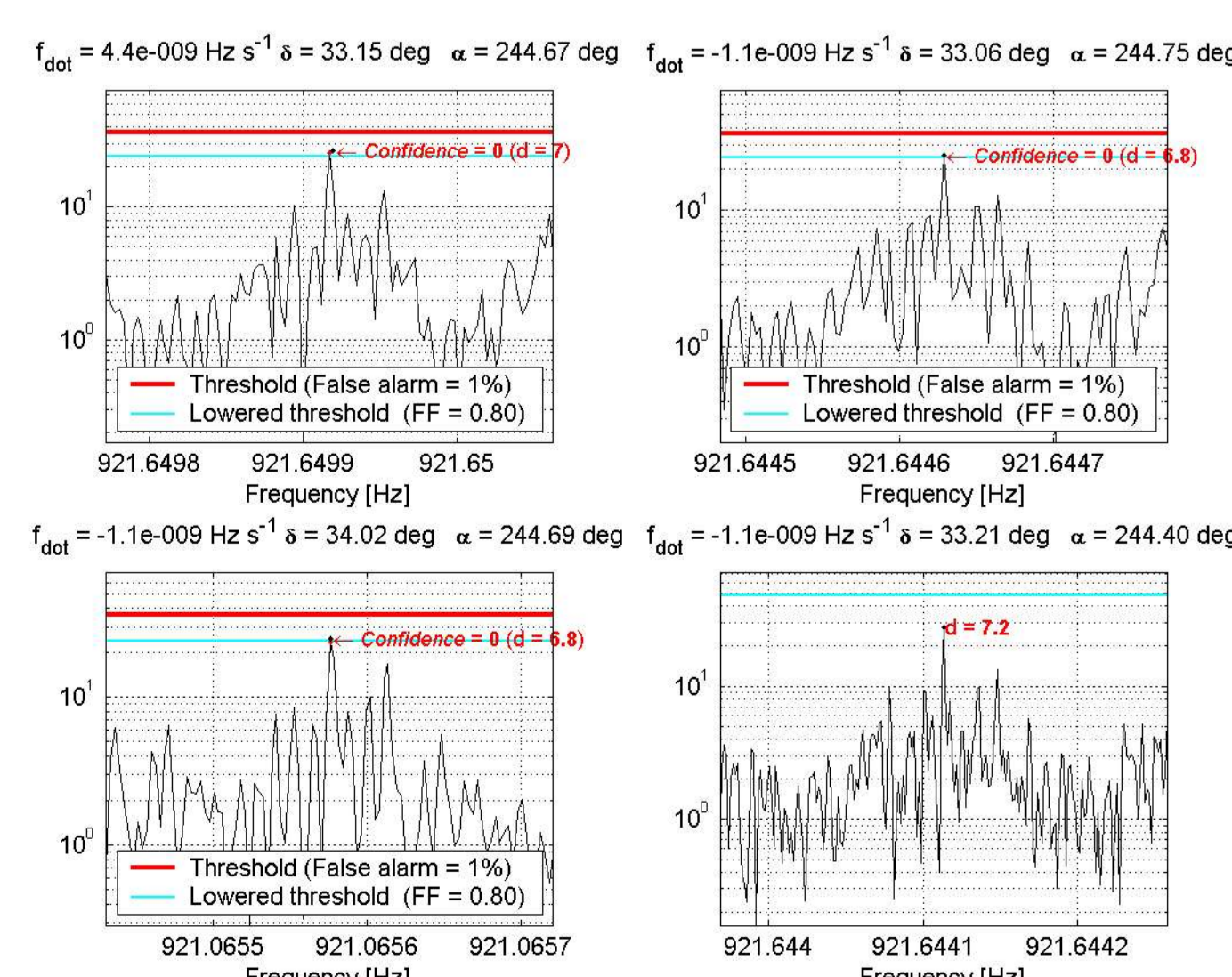
- ✓ Dane z detektora tworzą dyskretny poces stochastyczny
- ✓ Obecność sygnału fali grawitacyjnej zmienia rozkład prawdopodobieństwa zmiennej losowej opisującej ten proces
- ✓ Możliwe błędy przy testowaniu hipotezy istnienia sygnału w szumie: przeoczenie sygnału lub fałszywy alarm
- ✓ Podejście Neymana – Pearsona: szukamy testu, który przy zadanym, odpowiednio niskim prawdopodobieństwie fałszywego alarmu A maksymalizuje prawdopodobieństwo detekcji
- ✓ Sygnał zależy od kilku parametrów (położenie źródła na niebie, częstotliwość, pierwsza pochodna częstości po czasie)
- ✓ Szukamy takich wartości parametrów, które maksymalizują tzw. zredukowany iloraz wiarygodności (statystykę) F . Jeśli F przekroczy wartość progową F_0 (zależną od A) to twierdzimy, że w danych jest szukany sygnał
- ✓ F obliczamy na dyskretniej siatce w przestrzeni parametrów (metoda filtru dopasowanego). Następnie znajdujemy lokalne maksimum F w pobliżu tych węzłów siatki, dla których $F > F_0$

WYNIKI

- ✓ Dopuszczamy prawdopodobieństwo fałszywego alarmu 1%
- ✓ Progowa wartość F_0 odpowiada stosunkowi sygnał/szum $d = 8,3$
- ✓ Dyskretna siatka, przybliżone filtry – obniżenie progu do $d = 6,7$
- ✓ Liczba węzłów siatki w których obliczamy F : około 2×10^8
- ✓ Znalezione komórki, w których d przekracza 6,7: 11703 w półkuli północnej, 18702 w południowej
- ✓ Żaden z kandydatów nie przekracza progu $d = 8,3$ (maksymalnie 8,2)
- ✓ **Wniosek: w przebadanym ciągu danych nie znaleźliśmy sygnału ciągłej fali grawitacyjnej**
- ✓ Nasza analiza podaje górne ograniczenie bezwymiarowej amplitudy fali grawitacyjnej, nadchodzącej z dowolnego kierunku na niebie w przedziale częstości 921,00 – 921,76 Hz. Wynosi ono 2×10^{-23} z poziomem ufności 99%



Rozkłady prawdopodobieństwa statystyki F dla znalezionych kandydatów z północnej (lewy) i południowej półkuli. Widać dobrą zgodność z teoretycznym rozkładem χ^2 z 4-ma stopniami swobody (ciągła linia), który opisuje dane przy braku fali grawitacyjnej (gaussowski szum o zerowej wartości średniej)



Wykresy zredukowanego ilorazu wiarygodności F w funkcji częstotliwości dla kilku kandydatów o największym stosunku sygnał/szum. α , δ – rektascensja i deklinacja przypuszczalnego źródła, f_{dot} – pierwsza pochodna częstości (spindown).

Żaden z kandydatów nie przekracza progowej wartości odpowiadającej prawdopodobieństwu fałszywego alarmu 1% (czerwona linia)