

NEWCOMPSTAR

FUNDAMENTALNE PROBLEMY
FIZYKI A GWIAZDY ZWARTE

2014 — 2017



Gwiazdy zwarte, takie jak gwiazdy neutronowe, gwiazdy kwarkowe i gwiazdy hybrydowe stanowią unikalne laboratorium dla badania podstawowych składników materii oraz oddziaływań pomiędzy nimi w warunkach nieosiągalnych w eksperymentach przeprowadzanych na Ziemi. Te wyjątkowe obiekty astronomiczne przyczyniły się do przełomowych odkryć w dziedzinach fizyki jądrowej, chromodynamiki kwantowej, ogólnej teorii względności i astrofizyki wysokich energii.

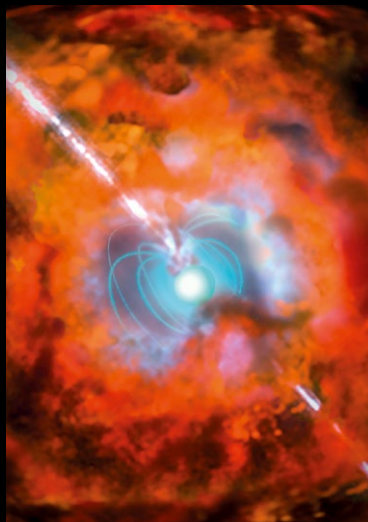
Nadchodząca generacja obserwatoriów i detektorów fal grawitacyjnych przyczyni się do innowacyjnych i fundamentalnych odkryć będących istotnym uzupełnieniem eksperymentalnej bazy fizyki jądrowej i cząstek elementarnych.

Program europejski MPNS COST Action MP1304 „Fundamentalne problemy fizyki a gwiazdy zwarte” (NewCompstar) skupił czołowych specjalistów w dziedzinie astrofizyki, fizyki jądrowej i teorii grawitacji w celu badania tej fascynującej i pełnej wyzwań problematyki w podejściu interdyscyplinarnym. W uzupełnieniu do innowacyjnego i dobrze określonego programu badań, sieć współpracy naukowej umożliwiła stworzenie ukierunkowanego programu kształcenia młodego pokolenia badaczy o szerokim zakresie wiedzy i umiejętności również w kierunku przekazywanie wiedzy oraz innowacji.

Rys. 1 – Statek kosmiczny Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) XMM-Newton, kosmiczne obserwatorium rentgenowskie
Źródło: Icons and NASA Science



1. OBSERWACJE I MODELOWANIE GWIAZD ZWARTYCH

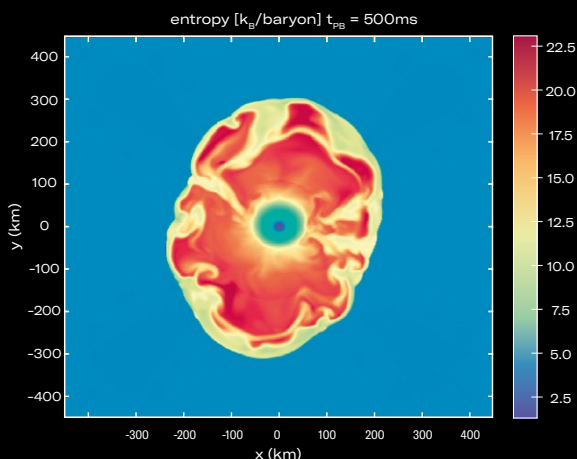


Rys. 2 – Rozbłyski gamma i magnetary. Błyski gamma (BG) to najbardziej gwałtowne wybuchy we Wszechświecie. Wiemy obecnie, że długie BG są związane ze „śmiercią” masywnych gwiazd, podczas gdy krótkie BG powstają raczej w wyniku zderzenia dwóch starych obiektów zwartych (gwiazdy neutronowej i czarnej dziury lub drugiej gwiazdy neutronowej). Obraz stworzony przez artystę przedstawia supernową i towarzyszący jej błysk gamma z szybko obracającego się magnetara – gwiazdy neutronowej o bardzo silnym polu magnetycznym.
Źródło ilustracji: ESO (<http://www.eso.org/public/images/eso1527a/>)

W ostatnim czasie, dzięki dostępowi do nowych teleskopów i obserwatoriów kosmicznych, miał miejsce znaczący postęp w naszym rozumieniu astrofizyki gwiazd zwartych. Dane z tych przyrządów były kluczowe dla zrozumienia własności gwiazd zwartych. Ponadto, nowe, zaplanowane instrumenty (np. FAST – największy pojedynczy radioteleskop, LOFT z nowatorskim modelowaniem profilu pulsów i SKA ze swoją bardzo wysoką czułością) dostarczą nam niespotykane bogactwo informacji na temat gwiazd zwartych.

Dzięki bliskiej współpracy zespołów teoretyków i obserwatorów nasz program rozwinął się do postaci wszechstronnego podejścia do różnorodnych zjawisk związanych z gwiazdami neutronowymi, korzystając z wkładu zarówno od strony mikrofizyki jak i teoretycznego modelowania czasoprzestrzeni.

Ostateczny cel programu NewCompstar polegał na powiązaniu różnych, czasami sprzecznych ze sobą wyników w ramach podejścia wykorzystującego obserwacje radiowe, rentgenowskie i w zakresie gamma oraz skonfrontowanie ich z teoretycznymi przewidywaniami (np. symulacji hydrodynamicznych, modelowania gliczy pulsarów, procesów emisji, modelowania atmosfer i magnetosfer, symulacji supernowych) oraz ich konsekwencjami (poprzez syntezę populacji gwiazd neutronowych).

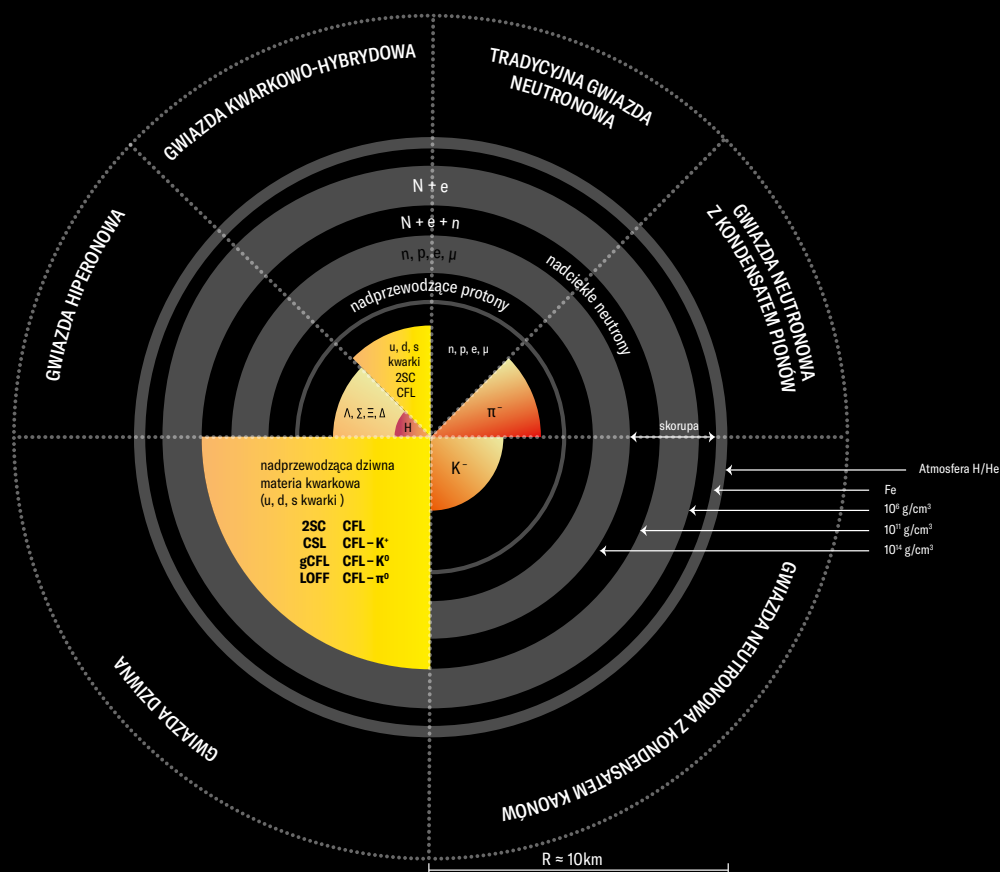


Rys. 3 – Supernowe z implozji rdzenie gwiazdowych – fascynujące sztuczne ognie kosmiczne. Kolejne migawki z trójwymiarowych symulacji komputerowych supernowych. Obrazki pokazują entropię na barion na początku eksplozji wewnątrz sfery o średnicy 1000 km.
Źródło ilustracji: K. Ebinger, O. Heinemann, M. Liebendörfer

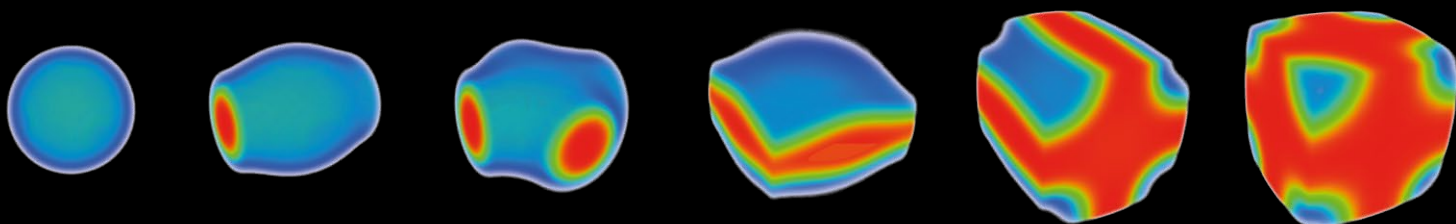
2. ODDZIAŁYWANIA SILNE — TEORIA I EKSPERYMENT

Gwiazdy zwarte oraz związane z nimi procesy astrofizyczne są źródłem silnych ograniczeń własności gęstej i gorącej materii hadronowej. Dotyczy to równania stanu, nadciekłości, współczynników transportu i parametrów elastycznych. Badanie własności silnie oddziaływującej materii w ekstremalnych warunkach astrofizycznych wymaga połączenia wysiłku specjalistów w dziedzinie QCD niskich energii oraz teorii wielu ciał. W istocie jeden z głównych problemów teoretycznych polega na tym, że teoria opisująca oddziaływanie i dynamikę kwarków i gluonów, czyli QCD, ma charakter nieperturbacyjny w obszarze istotnym dla struktury gwiazd zwartych. W dodatku efekty wielociałowe, takie jak tworzenie par oraz zachowania kolektywne powodują, że diagram fazowy materii hadronowej jest bardzo skomplikowany i trudny do opisanie.

Związek pomiędzy doświadczeniami jądrowymi a fizyką gwiazd zwartych nie jest prosty, ale nowatorskie, będące centrum uwagi programu NewCompstar, połączenie pomiędzy eksperymentami jądrowymi i obserwacjami astronomicznymi takich obiektów wywrze wpływ na wszystkie próby modelowania teoretycznego gwiazd zwartych.



Rys. 4 – Z czego są zbudowane gwiazdy neutronowe? Niektóre przewidywania teoretyczne dla materii istniejącej we wnętrzu gwiazd neutronowych. Źródło ilustracji: F. Weber



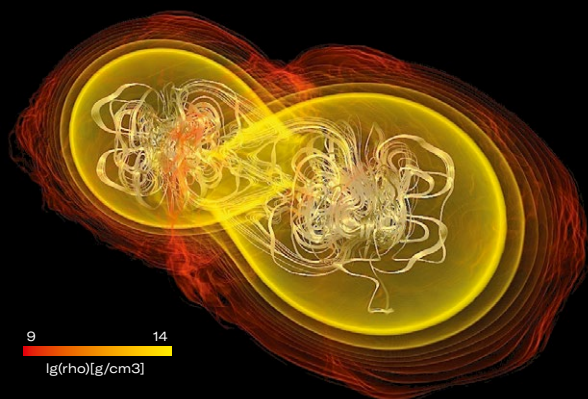
Rys. 5 – Jak złożona i skomplikowana jest skorupa gwiazdy neutronowej? Wewnętrzną skorupę tworzy sieć zdeformowanych jąder o różnych kształtach, zwanych fazami „makaronu”. Zanurzone są one w cieczy neutronów i relatywistycznym gazie elektronowym. Te jądrowe fazy „makaronowe” mają kształty, które zmieniają się wraz z gęstością począwszy od sferycznych kul do prętów, poprzez płaskie tafle, rury, aż do pęcherzyków materii jądrowej. Badanie obserwacyjnych konsekwencji istnienia tych faz było jednym z wyzwań programu.

Źródło ilustracji: H. Pais i J. Stone

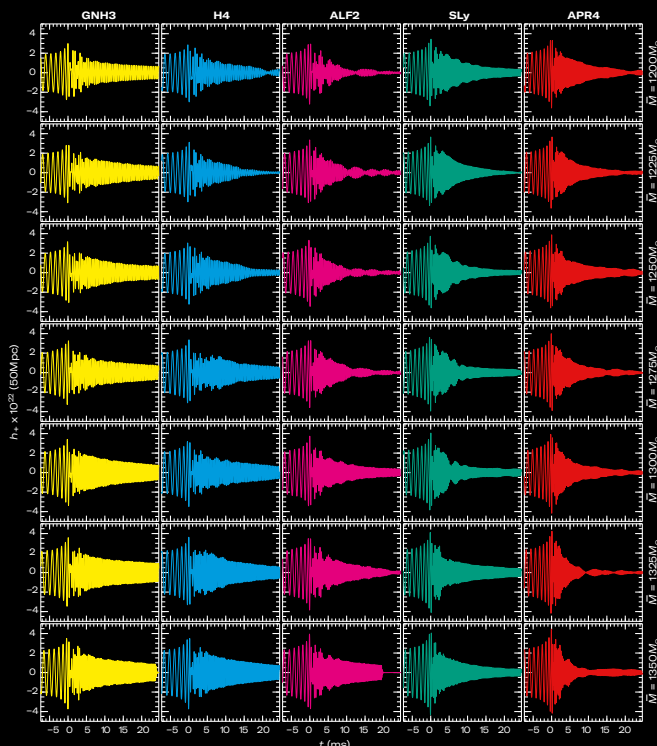
3. TEORIA GRAWITACJI I OBSERWACJE

Silne pola grawitacyjne gwiazd neutronowych czynią z nich interesujące źródła fal grawitacyjnych, zarówno w przypadku układów podwójnych tych gwiazd jak i przy ich narodzinach w wybuchach supernowych zakończonych kolapsem do czarnej dziury lub różnego rodzaju niesferycznymi oscylacjami. Zacieśnianie orbity i zlewianie dwóch obiektów układu podwójnego zawierającego dwie gwiazdy neutronowe lub gwiazdę neutronową i czarną dziurę prowadzić może do emisji fal grawitacyjnych mierzalnych przez detektory LIGO/Virgo. Obserwacje LIGO/Virgo dostarczą ważnych informacji dotyczących silnego pola grawitacyjnego, równania stanu oraz pochodzenia krótkich rozbłysków gamma.

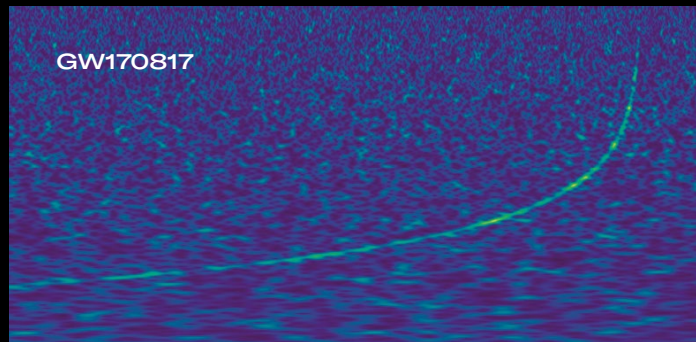
Zlewające się układy podwójne gwiazd neutronowych emitują fale grawitacyjne, których własności zależą od mas gwiazd i równania stanu. Numeryczne modelowanie przebiegu fal grawitacyjnych ma zasadnicze znaczenie dla pomyślnej ich detekcji.



Rys. 7 – Zlewanie układu podwójnego gwiazd neutronowych z dużym polem magnetycznym. Przedstawiono gęstość materii oraz linie sił pola magnetycznego. Źródło: FIAS/GU/AEI



Rys. 8 – Fale grawitacyjne przewidywane dla zlewania się układu dwóch gwiazd neutronowych. Różne kolory odpowiadają różnym równaniom stanu. Wiersze odpowiadają różnym masom układu podwójnego. Źródło: FIAS/GU/AEI



Rys. 6 – Dane z LIGO przedstawiają dźwięk „ćwierku” pochodzącego ze zacieśniania orbity układu podwójnego złożonego z dwóch gwiazd neutronowych. Źródło: LIGO



COST Association AISBL
Avenue Louise 149, 1050 Brussels, Belgium
T +32 (0)2 533 3800, F +32 (0)2 533 3890
office@cost.eu, www.cost.eu



COST is supported by
the EU Framework Programme Horizon 2020

SIEĆ

W programie NewCompStar uczestniczyło 29 państw oraz cztery instytucje z dwóch państw jako Near Neighbouring Countries Institutions oraz trzy instytucje jako International Partner Countries Institutions.

UCZESTNICY COST

Austria, Belgia, Bułgaria, Chorwacja, Republika Czeska, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Węgry, Islandia, Irlandia, Izrael, Włochy, Malta, Holandia, Norwegia, Polska, Portugalia, Rumunia, Serbia, Słowacja, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Turcja, Wielka Brytania.

COST NEAR NEIGHBOUR

Countries Institutions
IOFFE, JINR Dubna, MEPhI,
Sternberg Astronomical Institute
i Yerevan State University

COST International Partner

Countries Institutions
Monash University,
University of Melbourne
i Kent State University

NewCompStar COST Action

L. Rezzolla (Przewodniczący),
P. Pizzochero (wiceprzewodniczący)

Komitet Zarządzający

G. Barnafoldi, F. Burgio, M. Chernyakova,
V. Ferrari, J. A. Font, I. Jones, P. Haensel,
P. Pizzochero, C. Providência, M. Oertel,
N. Rea, L. Rezzolla, A. Sedrakian, I. Vidaña

<https://compstar.uni-frankfurt.de>

Zdjęcie przewodnie dzięki

Rentgenowskie: NASA/CXC/SAO; Optyczna: NASA/STScI; Podczerwień: NASA/JPL/Caltech; Radio: NSF/NRAO/VLA; Ultrafiolet: ESA/XMM-Newton

Wydrukowano w Estúdio Gráfico 21, Portugalia 2017
Graphic design & Typeface by Bürocratik