

Publikowane w ostatnich kilku latach niektóre nowe spektakularne obserwacje astrofizyczne wzbudziły olbrzymie zainteresowanie na całym świecie trafiając na czołówki nawet zwykle odległych od nauki magazynów, gazet i mediów. Chodzi tu o rejestrację fal grawitacyjnych (FG) oraz – całkiem niedawno – fotografię czarnej dziury, czyli wszystko pochłaniającego „niczego”. Pierwsze sygnały FG pochodziły ze zlewania się systemu binarnego dwóch czarnych dziur, późniejsze – ze zlewania się dwóch gwiazd zwartych (neutronowych). Oba te obiekty, czarna dziura i gwiazda zwarta, są końcowym etapem ewolucji starzejących się olbrzymich gwiazd, tzw. supergigantów, o masach zaczynających się od ośmiu mas słonecznych (M_{\odot}) i promieniach mogącymi być nawet większymi niż 1000 promieni Słońca. Taki supergigant pozostaje w równowadze dopóty reakcje jądrowe w jego jądrze wytwarzają ciśnienie mogące zrównoważyć napór grawitacyjny powierzchni - gwiazdowego płaszczka. Gdy paliwo termojądrowe w jądrze wyczerpuje się, siły grawitacji dochodzą do głosu i supergigant zaczyna się implozyjnie zapadać. Materia jądrowa nabiera gęstości nieosiągalnej w żadnym ziemskim eksperymencie. Jądro nie jest już w stanie więcej się ścieśniać i rozpoczyna się proces odwrotny. Następuje gigantyczna erupcja materii z gwiazdowego płaszczka, tzw. eksplozja grawitacyjnie kolapsującej gwiazdy supernowej (CCSN). Jest to najpotężniejsza erupcja masy we wszechświecie. Pozostałością, w miejscu rozerwanego supergiganta, staje się nowa gwiazda neutronowa. Gdy do eksplozji nie dochodzi, po implodującym supergigancie pozostaje czarna dziura.

CCSN oraz zlewanie się układu podwójnego gwiazd neutronowych (BNSM) są procesami astrofizycznymi w trakcie których dochodzi powstania gorącej i supergęstej materii jądrowej, która może osiągnąć stan tzw. uwalniającego przejścia fazowego do stanu plazmy QGP, składającej się z kwarków i gluonów – podstawowych „cegiełek”, z których zbudowana jest materia jądrowa. Ostatnie prace teoretyczne wskazują, że takie przejście fazowe, o ile jest 1-go stopnia, może być głównym silnikiem napędzającym proces eksplozji w przypadku bardzo ciężkich gwiazd, o masach przewyższających $50 M_{\odot}$. Ten zakres mas był dotąd nierozwiązaną zagadką przy modelowaniu procesów tworzenia się gwiazd supernowych.

Istota przejść fazowych zachodzących przy dużych gęstościach barionowych jest obecnie prawie nieznaną. Podstawowym celem projektu jest zbadanie wiarygodności przedstawionego tu scenariusza eksplozji CCSN w różnych wariantach przejścia hadrony-QGP i przy różnych modelach gwiazdnych. Przebadamy zdolność eksplozyjną ciężkich gwiazd jako astrofizyczne kryterium lokalizujące rejon przejścia fazowego. Uwzględniona będzie struktura podstawowych stanów hadronowych, łącznie z uwzględnieniem posiadających ładunek dziwności tzw. hiper-cząstek, oczekiwanych przy dużych gęstościach materii jądrowej.

W ramach niniejszego projektu zostanie rozbudowany nowy rodzaj hybrydowych równań stanu (EoS), hadrony-kwarki, uwzględniający dynamiczny mechanizm uwięzienia kwarków. Szczególna uwaga przy systematycznym badaniu tych EoS będzie zwrócona na ograniczenia wynikające z fizyki jądrowej oraz astrofizyki, co zapewni wewnętrzną spójność modelu. Projekt ma wszelkie możliwości przyczynienia się do wyjaśnienia wciąż nierozwiązanego w pełni problemu brakujących czerwonych supergigantów: nieobecność eksplozji CCSN w zakresie $25 \pm 5 M_{\odot}$ może wynikać z tego, że przy masach w tym zakresie tradycyjny neutrinowy mechanizm powodujący CCSN nie doprowadza już do eksplozji, podczas gdy silniki CCSN oparte na przejściu fazowym hadrony-QGP stają się efektywne dopiero przy masach wyższych. Jeśli ta hipoteza robocza zostanie potwierdzona przez przyszłe obserwacje, część naszego obecnego zrozumienia ewolucji Wszechświata będzie musiała się zmienić. Celem naszego projektu jest też sprawdzenie czy rzeczywiście przejście fazowe do stanu QGP jest jedynym mechanizmem wyzwalamującym eksplozję supernowej, czy też wystarczą do tego celu warunki związane ze współistnieniem obu faz. W ten czy inny sposób nasze badania dostarczą nowych elementów do wciąż niekompletnej układanki obrazu materii w ekstremalnych warunkach.