

W wielkim teatrze kosmicznym, katastroficzny koniec gwiazdy masywniejszej niż około 9 mas naszego Słońca, znanej jako grawitacyjna supernowa core-collapse, jest najpotężniejszym wybuchem energii we Wszechświecie. Takie eksplozje zajmują pierwsze miejsce jako hipnotyzujące wydarzenia, które mogą potencjalnie ujawnić zawiłą zależność między jeszcze nieodkrytym stanem materii w ekstremalnych warunkach a fizyką jądrową i cząstek elementarnych. Tutaj rozpoczyna się podróż w celu zbadania fascynującego związku między supernowymi core-collapse a fundamentalną fizyką, która kształtuje wszechświat.

W sercu supernowej core-collapse znajduje się równanie stanu gęstej materii. Jest to fundamentalny koncept fizyki, opisujący związek między ciśnieniem, gęstością i energią wewnątrz gęstego rdzenia zapadającej się masywnej gwiazdy. Zrozumienie równania stanu jest niezbędnym krokiem do odkrycia zachowania się materii w ekstremalnych warunkach, takich jak te w supernowej. Aby zrozumieć zawiłości supernowych core-collapse, musimy zagłębić się w dziedzinę fizyki jądrowej i cząstek elementarnych. Ekstremalne temperatury i ciśnienia w zapadającym się jądrze gwiazdy wywołują reakcje jądrowe, które napędzają dynamikę supernowej.

Jednym z najbardziej intrygujących aspektów supernowych core-collapse jest uwalnianie energii grawitacyjnej w postaci fal grawitacyjnych i neutrin. Te pierwsze wynikają z teorii grawitacji Einsteina, ogólnej teorii względności, które okazały się prawdziwe dzięki pierwszym obserwacjom fal grawitacyjnych łączących się układów podwójnych czarnych dziur i gwiazd neutronowych, za co w 2017 r. przyznano Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Te ostatnie są podstawowymi cząstkami, które poruszają się prawie z prędkością światła i zostały zaobserwowane podczas ostatniego zdarzenia galaktycznego, SN1987A, które otrzymało Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2002 roku. Oba przekaźniki, fale grawitacyjne i neutrina, pochodzą z wnętrza supernowej, a tym samym dostarczają informacji o zdarzeniach w jej wnętrzu, w tym o równaniu stanu, które w innym przypadku jest dla nas ukryte, ponieważ supernowa staje się widoczna optycznie dopiero wtedy, gdy eksplozja dotrze do powierzchni gwiazdy. Dzięki temu teoretyczne badania eksplozji masywnych gwiazd stają się nieocenionymi laboratoriami do badania równania stanu o dużej gęstości oraz praw rządzących fizyką jądrową i cząstek elementarnych.

Celem tego projektu jest opracowanie najnowocześniejszych modeli supernowych, opartych o wielkoskalowe symulacje komputerowe wykraczające poza najnowocześniejszą wiedzę fizyczną. Jest to stale rozwijająca się dziedzina, przesuująca granice naszej wiedzy nt. obliczeniowej ogólnorelatywistycznej dynamiki płynów promieniowania neutrin, jak i stanu materii i procesów oddziaływań podstawowych, które skutkują emisją neutrin w ramach sygnału wielowskaźnikowego. Uzyskane w ten sposób udoskonalone modele obliczeniowe i symulacje uwzględniające złożoność równania stanu gęstej materii fizyki jądrowej i cząstek, pozwoli zrewidować naszą wiedzę o tych wybuchach. Poza tym, wysiłek doświadczalny fizyki jądrowej i cząstek elementarnych, w tym doświadczenia w zderzaczach, a także w detektorach neutrin i fal grawitacyjnych, przyczyniają się do rozwoju teorii i potwierdzenia naszego rozumienia fizyki fundamentalnej.

Supernowe Core-Collapse oferują fascynującą platformę do badania związku między równaniem stanu bardzo gęstej materii a fizyką jądrową i fizyką cząstek. Cel zrozumienia zachowania materii w ekstremalnych gęstościach i temperaturach napędza badania naukowe, prowadząc do przełomowych odkryć. Kontynuując odkrywanie tajemnic Supernowych Core-Collapse, zbliżamy się coraz bardziej do zrozumienia fundamentalnej fizyki rządzącej kosmosem i naszego miejsca w nim.