Warszawa, 10 kwietnia 2017r.

Recenzja osiągnięcia naukowego (rozprawy habilitacyjnej) „Symulacje wybuchów masywnych gwiazd jako laboratoria fizyki nuklearnej oraz fizyki cząstek elementarnych, w pomiarach stanu materii w ekstremalnych warunkach" oraz ocena dorobku naukowego dr Tobiasa Fischera

Otrzymałem komplet dokumentów niezbędnych do sporządzenia recenzji, niektóre z nich w wersji polskiej i angielskiej. W recenzji odwołuję się do listy publikacji H1 – H10, składających się na osiągnięcie naukowe przedstawione jako rozprawa habilitacyjna, oraz do listy pozostałych publikacji dr Fischera.

Ocena osiągnięcia naukowego habilitanta

Prace H1 – H10 były opublikowane w latach 2010-2016 , a ich tematyka jest zgodna z tytułem rozprawy. Ponieważ publikacji jest tak wiele, oceniam je grupując w zależności od ich specyfiki. Ogólnie rzecz ujmując, publikacje opierają na symulacjach numerycznych zapadania (kolapsu) zdegenerowanych rdzeni masywnych gwiazd na końcowym etapie ich ewolucji termojądrowej, który po przekształceniu implozji w eksplozję otoczki gwiazdy generuje supernową typu II (*core collapse supernova* - CCSN). Używany kod numeryczny AGILE-BOLTZTRAN opisuje 1D ewolucję dynamiczną materii i transport oddziałującego z materią promieniowania (fotony, neutrina) w ramach ogólnej teorii względności (OTW). Twórcą kodu jest Antony Mezzacappa (Oak Ridge NL, USA). Jedynym autorem prac H1 i H2 jest dr Fischer. Są to jednocześnie prace najświeższe, opublikowane w 2016r. Pozostałe prace są wieloautorskie, ale na ogół z dominującą rolą dr Fischera (co wynika w oświadczeń współautorów).

Procesy neutrinowe.

Jedynym autorem prac H1 i H2 jest dr Fischer. Są to jednocześnie prace najświeższe, opublikowane w 2016r. W pracy H1, korzystając z istniejących metod kwantowej teorii wielu cząstek, habilitant oblicza wpływ gęstego gorącego ośrodka jaki istnieje w jest rdzeniu CCSN, na tempo reakcji produkcji par neutrino-antyneutrino. Następnie przeprowadza symulacje numeryczne 1D aby ocenić wpływ obliczonych efektów na obserwowalny sygnał neutronowy emitowany na etapie deleptonizacji protogwiazdy neutronowej. Ocenia też wpływ badanego efektu na nukleosyntezę (niewielki).

Praca H5 opisuje duży eksperyment numeryczny. Zbadano wpływ produkcji par neutrino-antyneutrino towarzyszącej rozpadom stanów wzbudzonych ciężkich jąder na wczesną ewolucję protogwiazdy neutronowej w okresie pierwszych 100 ms po odbiciu (*bounce*) implozji centralnej. Okazało się, że produkowane w ten sposób pary neutrino-antyneutrino nie maja wpływu na dynamikę eksplozji oraz że straty energetyczne w czasie zapadania (czyli przed odbiciem) są zdominowane przez wychwyty elektronów na protonach. Tak więc wynik tej pracy jest negatywny, ale pożyteczny dla teorii CCSN.

Praca H7 opisuje symulacje CCSN dla presupernowej o masie 15 Msun, opisuje 3s od obicia. Znów pojawia się problem z eksplozją, którą można uzyskać uratować dodatkowym grzaniem neutronowym! Okazuje się, że sposób traktowania procesów wychwytu elektronów

oraz rozpadów beta jest całkiem istotny dla otrzymanego błysku neutrinowego, jego widma energetycznego oraz natężenia. Nie ma warunków na nukleosyntezę w procesie r. Aż do końca symulacji widmo neutrin elektronowych jest bardzo rożne od widm dla pozostałych zapachów neutrin.

Praca H8 to symulacje CCSN dla dwóch różnych presupernowych: 8.8 Msun z rdzeniem O-Ne-Mg (symulacja trwa 7s) oraz 18 Msun z rdzeniem Fe (symulacja trwa 20s). Zaletą pracy jest bardzo szczegółowa analiza widm neutronowych i ich ewolucji w czasie. Po upływie ok. 10s reakcje beta tłumione są przez zakaz Pauliego dla stanów końcowych, zaś widma neutronowe są zdominowane przez procesy indukowane przez prądy neutralne. W konsekwencji dla tak długich czasów widma dla wszystkich zapachów neutrin są podobne.

Równanie stanu gęstej materii.

Praca H2 jest poświęcona testowaniu modeli równania stanu powyżej gęstości jądrowej (Equation of State - EOS) o sztywności zwiększanej za pomocą metody traktującej nukleony jako sztywne nieprzenikalne sfery (excluded volume). Habilitant wykazuje, że zwiększanie promienia sztywnych sfer prowadzi do usztywnienia EOS, ale nie wpływa na sukces czy porażkę modelu CCSN. Wynika to z faktu, że w momencie „odbicia" (zmiana kierunku prędkości i powstanie fali uderzeniowej) gęstość centralna jest tylko nieco wieksza od gęstości jądrowej. Mało jest również zmieniony sygnał neutrinowy towarzyszący CCSN. Tak więc wynik eksperymentu numerycznego w H1 jest negatywny, ale pouczający.

W pracy H4 badany jest wpływ wartości jadrowej energii symetrii i jej pochodnej po gęstości na wynik symulacji CCSN. Po raz pierwszy zastosowano, obok kilku klasycznych EOS, model DD2 oparty na relatywistycznej teorii średniego pola z zależnymi od gęstości stałymi sprzężenia nukleonów z polami mezonowymi. Wyniki dla DD2 (energia wybuchu, krzywe jasności neutronowej etc.) plasują się między skrajnymi klasycznymi EOS.

Praca H3 jest poświęcona symulacjom CCSN z presupernowej o masie 11.2 Msun z rdzeniem Fe. Niestety, sztucznie zwiększono grzanie przez neutrina na etapie po odbiciu aby uzyskać eksplozję: to cena jaką się prawdopodobnie płaci za ograniczenie do symetrii sferycznej. Eksplozja i protogwiazda neutronowa są ewoluowane przez 9 s po odbiciu, obliczane są też obfitości pierwiastków otrzymanych w wyniku nukleosyntezy. To pierwsza symulacja o tak długim czasie, z EOS (DD2) zgodnym zarówno z najnowszymi ograniczeniami (energia symetrii, pochodna energii symetrii po gęstości, gwiazdy neutronowe z 2Msun). Ulepszono transport neutrin uwzględniając wpływ ośrodka na stałe sprzężenia z nukleonami. Jeżeli chodzi o nukleosyntezę, to wynik ma charakter negatywny: podgrzewanie plazmy przez neutrina wywołujący „wiatr neutronowy" nie daje efektywnego procesu – szybkiego wychwytu neutronów: nie można więc wyprodukować jąder Z>42.

W pracy H6 dr Fisher jest ostatni na liscie autorów, ale z oświadczeń współautorów wynika, że ma największy wkład do tej publikacji. Trzy nowe EOS o róznej energii symetrii (J) oraz jej pochodnej po gęstości (L) są zgodne z więzami wynikającymi z dzisiejszej fizyki jądrowej oraz z istnieniem pulsarów o 2Msun. Symulowane są kolapsy presupernowych z 11.2Msun oraz 40Msun z rdzeniami Fe. Ewolucja protogwiazdy neutronowej jest symulowana przez 0.4s od odbicia. Otrzymano słabą zależność wyników od J i L jeżeli chodzi o dynamikę kolapsu, oraz umiarkowany wpływ J na ewolucję liczby leptonowej w protogwieździe neutronowej. Widma neutronowe też są słabo zależne od J i L. Dla presupernowej o masie 40Msun otrzymano oczywiście zapadnięcie rdzenia do czarnej dziury: czas życia protogwiazdy neutronowej silnie zależy od EOS, ale nie wiadomo od jakich parametrów EOS.

Praca H7 opisuje symulacje CCSN dla presupernowej o masie 15 Msun, opisuje 3s od obicia. Znów pojawia się problem z eksplozją, którą można uzyskać uratować dodatkowym grzaniem neutronowym! Okazuje się, że sposób traktowania procesów wychwytu elektronów oraz rozpadów beta jest całkiem istotny dla otrzymanego błysku neutrinowego, jego widma energetycznego oraz natężenia. Nie ma warunków na nukleosyntezę w procesie r.

W pracy H9 trzy różne nowe EOS są użyte w symulacjach CCSN a wyniki porównane z wynikami dla dwóch klasycznych EOS: Lattimera-Swesty'ego (1991) oraz Shena (1998). Te „klasyczne" („standardowe") EOS są niezgodne z dzisiejszymi ograniczeniami (więzami) wynikającymi z fizyki jądrowej (J,L) oraz astrofizyki (pulsar o 2Msun). Wykazano istotna rolę segmentu EOS poniżej 10^{14} g/cm^3 (segment z jadrami atomowymi w plaźmie). Presupernowe mają 15 Msun oraz 40 Msun. Dla 15Msun znaleziono istotną zależność sygnału neutrinowego przez 1s (od odbicia) od EOS. Dla 40 Msun czas do sformowania czarnej dziury i obcięcia sygnału neutronowego silnie zależy od EOS (od 0.5s do 1.1s).

Praca H10 z 2010r to najstarsza i najbardziej cytowana praca w rozprawie habilitacyjnej dr Fischera (ponad 250 cytowań wg. NASA ADS). To już praca klasyczna, której współautorami są takie tuzy jak A. Mezzacappa (autor kodu AGILE-BOLTZTRAN, używanego w pracach H1-H10) oraz F.Thielemann (klasyk nukleosyntezy w gwiazdach i supernowych). Presupernowe mają 8.8Msun, 10.8Msun, oraz 18Msun. Sztucznie wzmocnienie grzania neutronowego pozwala uzyskać wybuch przy narzuconej symetrii sferycznej. Symulacje obejmują 20s po odbiciu! W 2010r były to najpełniejsze symulacje 1D CCSN jeżeli chodzi o fizykę gęstej gorącej materii oraz neutrin i oddziaływań słabych. Przez 20s po odbiciu otrzymano charakterystyki witru gorącej plazmy wywiewanej przez ciśnienie neutrin. Była nadzieja, że w wywiewa plazma może być ośrodkiem gdzie zachodzi synteza pierwiastków cięższych od Fe. Niestety, w pracy H7 wykazano jednak niespójność metody jednoczesnej implementacji EOS oraz procesów słabych, tak więc sporo wyników w H10 wymagało rewizji, dokonanych w późniejszych pracach dr Fischera i innych autorów.

Uwagi końcowe dotyczące osiągnięcia naukowego

Rozprawa habilitacyjna , a także pozostały dorobek naukowy habilitanta, są skupione na jednym z najtrudniejszych problemów astrofizyki współczesnej, jakim jest ilościowe wyjaśnienie zjawiska wybuchu masywnych gwiazd obserwowanych jako supernowe oraz pochodzenie ciężkich pierwiastków we Wszechświecie. Habilitant należy niewątpliwie do czołówki badaczy zajmujących się tym problemem. Tym niemniej kod numeryczny którego używa – AGILE-BOLTZTRAN, a który został stworzony przez A. Mezzacappa (obecnie Oak Ridge NL, USA), zakłada symetrię sferyczną ruchu materii! Okazuje się, że podczas 45 lat rozwoju teorii Core Collapse Supernovae , który mogłem osobiście śledzić, uwzględnienie realistycznej fizyki transportu neutrin w gęstej gorącej materii wymusza ograniczenie do *nierealistycznej* jednowymiarowej hydrodynamiki materii sprzężonej z *realistycznym* transportem neutrin! W tych rachunkach 1D, gdzie nie ma miejsca na konwekcję i inne zjawiska łamiące symetrię sferyczną, trzeba zwiększać sztucznie grzanie neutronowe aby zwiększyć szansę zwalniającej fali uderzeniowej na przyspieszenie i wybuch! Z jednej strony, jest to dla mnie frustrujące, i powinno być powodem pokory teoretyków zajmujących się CCSN. Oczywiście, podziwiam habilitanta, że prowadzi tak kompetentnie i efektywnie badania niezwykle skomplikowanego zjawiska.
Czterdzieści lat temu wierzono, że CCSN wytwarza ciężkie pierwiastki, których nie mogą wyprodukować wnętrza gwiazd. Od pewnego czasu symulacje wykazują, że ta nadzieja nie ziszcza się niestety, natomiast wydaje się, że mogą być one produkowane w procesach zlewania się dwóch gwiazd neutronowych w spiralujących układach podwójnych będących prawdopodobnym mechanizmem krótkich błyskow gamma. Taka jest dramaturgia tej ekstremalnej części astrofizyki teoretycznej …

Współautorzy określili swój procentowy udział w publikacjach H3-H10. Wg. moich obliczeń, w pracach H9 oraz H3 dr Fischer nie ma największego wkładu procentowego do publikacji, ale ten niedomiar jest porównywalny z niepewnością określania wkładu pojedynczego autora. Tak więc nie uważam, aby to było istotne.

Ocena istotnej aktywności naukowej habilitanta

W ciągu 10 lat, jakie upłynęły od uzyskania stopnia magistra (MS) , dr Fischer wykazał bardzo wysoką aktywność naukową. W szczególności, opublikował w tym okresie 50 recenzowanych artykułów naukowych, co daje świetną średnią 5 prac recenzowanych na rok. Prace te uzyskały uzyskały w sumie ok.1700 cytowań (bez autocytowań, na podstawie Web of Science). Należy zauważyć, że są to prawie wyłącznie prace zespołowe. Poza tym habilitant był b. aktywny i ceniony na międzynarodowych konferencjach naukowych, gdzie w ostatnich 10-ciu latach wygłosił 11 referatów zaproszonych i przedstawił 23 komunikaty naukowe.

Dr Fischer uczestniczył też w kilku europejskich sieciach współpracy naukowej, takich jak CompStar i NewCompStar COST Actions, MASCHE, oraz LENA. Był opiekunem dwóch prac magisterskich, wykładał na UWr oraz prowadził wykłady specjalistyczne na międzynarodowych szkołach fizyki i astrofizyki.

Podsumowując, aktywność naukową dr Fischera oceniam b. wysoko, a dorobek dydaktyczny oceniam jako dobry.

Podsumowanie

Stwierdzam, że przedstawiona przez dr Tobiasa Fischera rozprawa habilitacyjna (osiągnięcie naukowe), a także jego cały dorobek naukowy, spełniają warunki wymagane do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych.

Prof. dr hab. Paweł Haensel

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN, Warszawa