

1. CEL NAUKOWY/HIPOTEZY BADAWCZE

W tym projekcie proponujemy stworzenie pierwszej bazy danych syntetycznych populacji gwiazdowych, zaczynając od najwcześniejszych gwiazd Populacji III aż do najbardziej egzotycznych obiektów układów podwójnych z czarnymi dziurami. Tego rodzaju baza danych będzie źródłem informacji o zasięgu światowym dla astronomów jak i również narzędziem komunikacji i popularyzacji nauki dla szerszej publiczności. Używając najnowszych metod i wiodących w danej dziedzinie kodów numerycznych zcharakteryzujemy całe populacje gwiazdowe, od momentu ich narodzin, poprzez ich ewolucje aż do utworzenia obiektów zwartych: białych karłów, gwiazd neutronowych i czarnych dziur. Wykorzystanie informacji zawartych w tej bazie danych, pozwoli (zarówno nam, jak i innym zespołom badawczym) na nowe jakościowo podejście do szeregu nierozwiązanych problemów astrofizyki, kosmologii czy numerycznych badań nad relatywistycznymi układami obiektów zwartych. W obrębie naszej grupy, w ramach zaproponowanego tu projektu, przeprowadzimy 3 konkretne badania naukowe, które zademonstrują wykorzystanie i użyteczność naszej syntetycznej bazy danych. Każdy z projektów, i jego szczegółowe cele naukowe z postawionymi hipotezami badawczymi opisane są poniżej. Dane, których dostarczymy w obrębie tej bazy danych, będą mogły być wykorzystane nie tylko do porównania z istniejącymi już obserwacjami, ale również pozwolą na opis nieba z perspektywy nowych czy dopiero powstających instrumentów/misji kosmicznych. Całościowo, przeprowadzenie zaproponowanego tu projektu, pozwoli skonsolidować mocną grupę badawczą, składającą się głównie z młodych i ambitnych studentów, doktorantów i post-dock'ów. Wykonane zostaną nie tylko przedstawione tu projekty badawcze, ale zostanie stworzona i udostępniona biblioteka gwiazdowa dla środowisk astronomicznych. A dodatkowo, przy użyciu nowoczesnych i innowatorskich technik nasze badania zostaną przedstawione szerszej publiczności, która będzie aktywnie zaangażowana w nasz projekt.

1.1. Ultrajasne Źródła Rentgenowskie (ULXs)

ULXs są zdefiniowane jako punktowe źródła promieniowania X, których jasność jest większa niż kilka razy 10^{39} erg/s i które nie są centralnymi punktami aktywnych galaktyk (np. nie są AGN-ami). Definicja ta powstała na podstawie pierwszych ob-

serwacji satelitarnych w promieniowaniu X (Einstein, ROSAT, ASCA), które ujawniły populacje pozagalaktycznych źródeł punktowych o niezwykle wysokich jasnościach [1]. Naturalnym wyjaśnieniem natury ULXs wydają się być akreujące gwiazdy neutronowe czy czarne dziury pochodzenia gwiazdowego w ciasnych układach podwójnych. Jednakże, jasność tych źródeł przekracza krytyczną jasność Eddingtona dla akreujących obiektów zwartych pochodzenia gwiazdowego.

Jasność Eddington'a może być zapisana jako $L_{\text{Edd}} = 1.3 \times 10^{38} (M/M_{\odot})$ erg/s i oznacza ona maksymalną jasność bolometryczną dla akreującego obiektu o masie M . Pierwsze czarne dziury odkryto w ciasnych układach podwójnych w naszej Galaktyce i wyznaczono ich masy: $5 - 15M_{\odot}$ [2]. Tak więc, maksymalna jasność akreującej czarnej dziury ($15M_{\odot}$) zdaje się być ograniczona poprzez $L_{\text{Edd}} = 2 \times 10^{39}$ erg/s. W tym kontekście, każdy akreujący obiekt o wyższej jasności jest klasyfikowany jako ULX.

Ostatnia dekada dostarczyła wielu informacji o ULXs. Dane uzyskane przy pomocy satelitów *Chandra*, *XMM-Newton*, *Suzaku*, *Swift* pozwoliły określić własności widmowe oraz zmienność czasową tych źródeł [3]. Obecnie katalogi ULX zawierają więcej niż 500 obiektów o jasnościach $10^{39} - 10^{42}$ erg/s [4]. Niektóre z ULXs charakteryzują się krótkoskalową zmiennością czasową (minuty) wykazującą ich pochodzenie z ciasnych układów podwójnych [5]. Dokładna analiza danych obserwacyjnych zdaje się wskazywać, że ULXs są zasilane akrecją na czarne dziury o masach $10 - 10,000M_{\odot}$. Z jednej strony prowadzone są bardzo intensywne programy obserwacyjne nad tymi źródłami i podejmowane są próby zidentyfikowania ich natury oraz pochodzenia [6,7]. Z drugiej strony rozwijane są teoretyczne precyzyjne modele akrecji na czarne dziury z uwzględnieniem superkrytycznej akrecji, jetów, kolimacji emisji rentgenowskiej oraz jej interakcji z otoczeniem [8,9]. Jednakże, pomimo tych intensywnych badań pochodzenie i sama natura ULXs są do dziś niewyjaśnione.

Najprostsza interpretacja jasności ULXs bazuje na użyciu jasności Eddingtonowskiej i jej bezpośredniemu przelożeniu na masę akreującego obiektu. Jeżeli, w rzeczywistości limit ten nie jest przekraczany, to w ULXs znajdują się czarne dziury o masach sięgających $10,000M_{\odot}$ i znacznie przekraczające masę czarnych dziur o pochodzeniu gwiazdowym. Oczekuje się, że te tak zwane czarne dziury o pośrednich masach (intermediate mass black holes; IMBHs) powstają w gęstych gromadach (np.

kulistych) w wyniku oddziaływań dynamicznych. Jednakże, nie ma jeszcze niepodważalnych dowodów na istnienie tego typu obiektów, choć one naturalnie wyjaśniałyby podstawowe własności ULXs [10]. Bazując na tego typu argumentach, często wyklucza się możliwość, że czarne dziury pochodzenia gwiazdowego (czyli te o znacznie mniejszych masach), mogą też zasilać ULXs. Jednakże, są trzy podstawowe zastrzeżenia do takiej nadinterpretacji.

Po pierwsze, zostały zaproponowane modele dysków akreujących ("leaky" accretion disks with photon bubbles), które w sposób naturalny pozwalają na zwiększenie jasności akreującego obiektu o czynnik ~ 10 powyżej limitu Eddingtonowskiego [11]. Po drugie, oceny jasności ULXs mogą być zawyżone o czynnik ~ 10 w wyniku nieizotropowej emisji z ciasnych układów podwójnych o dużym tempie akrecji (tak zwany beaming) [12]. I ostatecznie, w ramach naszej grupy pokazaliśmy, że czarne dziury pochodzenia gwiazdowego mogą osiągać znacznie wyższe masy niż do tej pory to przyjmowano w środowiskach astronomicznych. Nasze oceny teoretyczne, wsparte wyznaczeniami obserwacyjnymi, pokazują że masy gwiazdowych czarnych dziur mogą sięgać $\sim 80M_{\odot}$ w populacjach gwiazdowych o małych metalicznościach [13]. Daje to kolejny czynnik ~ 10 w zwiększeniu jasności układów z gwiazdowymi czarnymi dziurami. Jeżeli połączymy powyższe 3 efekty (wzrost jasności o czynnik ~ 1000), to staje się (potencjalnie) możliwe wyjaśnienie nawet najbardziej jasnych ULXs czarnymi dziurami pochodzenia gwiazdowego ($10^{39} \rightarrow 10^{42}$ erg/s). Częściowo, wyżej wymienione koncepcje były testowane [14,15], jednakże jak do tej pory brakuje pełnego modelu oraz symulacji numerycznych testujących czy te koncepcyjnie logiczne idee, są realizowane w ramach ewolucji podwójnych układów gwiazdowych.

Proponujemy konstrukcję pełnego modelu gwiazdowego ULX, który będzie uwzględniał wszystkie wyżej opisane czynniki. Użyjemy tego modelu w symulacjach numerycznych naszym kodem syntezy populacji **StarTrack**. Każda z symulacji będzie odzwierciedlała jedną galaktykę z jej typowym składem chemicznym i historią formacji gwiazd. Obserwuje się jeden ULX na kilka czy nawet kilkanaście galaktyk – więc symulacje będą kosztowne czasowo i numerycznie (jedna galaktyka może zająć ponad miesiąc obliczeń na średniej klasy klastrze komputerowym). Jednakże dane z tych symulacji będą zawierały pełne populacje tych galaktyk, które umieścimy do użytku w naszej bazie danych (np. układy BH-BH czy inne układy rentgenowskie: HMXB/LMXB, które są ważne w innych projektach i dla wielu grup badawczych). Nasze symulacje pozwolą ustalić, czy przy uwzględnieniu najnowszej fizyki akrecji i

emisji w ciasnych układach podwójnych, uda się odtworzyć obserwowaną populację ULXs (jasności i częstość występowania) w ramach gwiazdowego modelu pochodzenia tych obiektów.

W naszych obliczeniach, uwzględnimy dodatkowo, jeszcze jeden czynnik, który dotąd nie był brany pod uwagę w dyskusjach nad pochodzeniem ULXs. Najnowsze obserwacje wykazały, że gwiazdy Populacji I (np. w LMC) mogą tworzyć się z masami aż do $\sim 300M_{\odot}$ [16]. Dotychczas zakładano, że maksymalna masa gwiazdy w lokalnym Wszechświecie (PopI czy PopII) jest znacznie niższa: $100 - 150M_{\odot}$. Masywniejsze gwiazdy mogą tworzyć bardziej masywne czarne dziury, a w związku z tym może to prowadzić do powstawania nawet najjaśniejszych ULXs z obecnych populacji gwiazdowych. Pierwszy model tak masywnych gwiazd został już wprowadzony do naszego kodu syntezy populacji i prowadzimy pierwsze obliczenia testowe [17].

1.2. Źródła Fal Grawitacyjnych (Źródła GR)

Układy podwójne obiektów zwartych (DCOs): podwójne gwiazdy neutronowe (NS-NS), podwójne czarne dziury (BH-BH) oraz układy typu czarna dziura gwiazda neutronowa (BH-NS) są najlepszymi kandydatami na detekcję w falach grawitacyjnych przez działające już instrumenty takie jak *LIGO* czy *VIRGO*, tudzież przyszłe instrumenty takie jak *KAGRA* czy *Einstein Telescope*. *LIGO/VIRGO* zakończyło wstępne obserwacje, a same instrumenty są obecnie udoskonalane. Ponowne obserwacje mają rozpocząć się w 2015/16 roku. W ciągu ostatnich 10-20 lat wiele grup pracowało i nadal pracuje nad oszacowaniami ilości i własności fizycznych DCOs [18,19].

Bez wyjątku, do tej pory, wszelkie oszacowania populacji DCOs opierały się na wynikach obserwacji tudzież na modelach teoretycznych ewolucji gwiazdowej w naszej Galaktyce. Jednakże, instrumenty grawitacyjne będą sięgać znacznie poza naszą Galaktykę, a w szczególności będą próbkowały wiele niewielkich i intensywnie tworzących gwiazdy galaktyk. Okazuje się, że większość z tych małych galaktyk charakteryzuje się niską zawartością metali ($\sim 20\%Z_{\odot}$ [20]). Dwa lata temu pokazaliśmy, że tworzenie się układów typu BH-BH, które są najsilniejszymi emitarami fal grawitacyjnych, jest jakościowo zupełnie odmienne w środowiskach o wysokiej i niskiej metaliczności [21]. W szczególności, w środowisku Galaktycznym (wysoka metaliczność) układy BH-BH prawie się nie tworzą, w kontraście do galaktyk o niskiej zawartości metali. Uwzględnienie rzeczywistego składu chemicznego lokalnego kosmosu daje w rezultacie zupełnie inny obraz nieba w falach grawitacyjnych, niż wynikałoby to z ekstrapolacji Galaktycznych wyników.

Nasze teoretyczne przewidywania [22] zyskują na wadze wraz z najnowszymi pojawiającymi się wyznaczeniami empirycznymi [23,24,25]. Dla przykładu grupa naukowa *LIGO/VIRGO* przeprowadziła specjalnie dedykowany program przeszukania najnowszych danych z interferometrów *LIGO/VIRGO* w kontekście naszych przewidywań o masywnych układach BH-BH [26]. W chwili obecnej jesteśmy jedyną grupą na świecie, która uwzględnia realistyczną dystrybucję mas NS/BH, fizycznie spójne modele supernowych oraz niejednorodny skład chemiczny lokalnego Wszechświata. W ramach naszego modelu rozpoczęliśmy program identyfikacji konkretnych zadań oraz problemów naukowych w których rozwiązaniu pomogą obserwacje w falach grawitacyjnych. Innymi słowami, dostarczamy motywacji naukowej dla przyszłych obserwacji układów obiektów zwartych w ramach takich problemów które są w tym momencie nierozwiązywalne czy to teoretycznie czy przy pomocy obserwacji elektromagnetycznych. W 2012 roku, w ramach pilotażowego programu inicjalizacji naszej bazy danych, pokazaliśmy, że pierwsze detekcje DCOs dostarczą brakujących informacji o asymetriach supernowych (tudzież ich braku) podczas tworzenia się czarnych dziur [27] oraz, że fale grawitacyjne mogą być jedynym nośnikiem informacji o brakujących obiektach zwartych w zakresie $2 - 5M_{\odot}$ [28].

Dostarczymy jakościowo nowy opis populacji DCO. W naszej bazie danych pojawią się syntetyczne populacje utworzone w różnych środowiskach galaktycznych (pełny zakres mas, metaliczności i szeroki wybór historii tworzenia się gwiazd). Nasza biblioteka będzie zawierała nie tylko obiekty zwarte utworzone z Populacji gwiazdowych I/II, ale również te z Populacji III [29]. Poza podstawowymi parametrami opisującymi DCO, takimi jak masy poszczególnych składników, częstość ich koalescencji czy wielkość orbity w czasie utworzenia, zamieścimy również informacje o kierunku i wielkości spinu obiektów zwartych [30], położeniu danego układu w galaktyce macierzystej [31], oraz rozkładzie tych układów z redshiftem dla kilku podstawowych modeli rozwoju chemicznego Wszechświata [32].

Nasze wyniki będą wykorzystane nie tylko w badaniach związanych z *LIGO/VIRGO*, ale będą również służyły jako cenny wkład w rozwój przyszłych teleskopów grawitacyjnych: zarówno tych naziemnych jak i misji kosmicznych (*DECIGO*, *eLISA*).

1.3. Progenitory Supernowych Typu Ia (SN Ia)

Supernowe typu Ia zachodzą w podwójnych układach gwiazdowych, w których znajduje się co najmniej jeden biały karzeł typu węglowo-tlenowego (CO WD) i który poprzez akrecję masy ek-

sploduje pozostawiając po sobie ekspandującą gwałtownie mgławicę ciężkich pierwiastków. SN Ia są końcowymi fazami ewolucji średniomasywnych gwiazd w układach podwójnych [33]. SN Ia są ważne nie tylko w kontekście ewolucji chemicznej, ale są też niezwykle istotne w pomiarach odległości we Wszechświecie. Dzięki nim udało się ustalić tempo ekspansji Wszechświata [34] i ustanowić skalę odległości aż do redshiftu ~ 1.5 . Jednakże pomimo faktu, że SN Ia używa się jako świece standardowe, niewyjaśniony jest mechanizm ich eksplozji. Również do tej pory nie udało się zidentyfikować jakie konkretnie układy gwiazdowe produkują SN Ia [35].

Do niedawna, testowano dwa główne ścieżki ewolucyjne prowadzące do SN Ia: Pojedynczo Zdegenerowany Model: akrecja na WD z typowej gwiazdy (SDS [36]) i Podwójnie Zdegenerowany Model: koalescencja dwóch WDs (DDS [37]). Żaden z tych modeli nie jest w stanie wytłumaczyć podstawowych własności obserwacyjnych SN Ia. Jednakże, ostatnio nie tylko proponuje się inne modele powstawania SN Ia [38], ale zróżnicowane pochodzenie tych eksplozji znajduje potwierdzenie w obserwacjach [39]. Podstawowymi ograniczeniami na proponowane modele są ich przewidywane częstości występowania oraz czas niezbędny do utworzenia eksplodującego WD od czasu powstania gwiazd w danej galaktyce (DTD). Obie te wielkości są coraz precyzyjniej określone wraz z rosnącą próbką SN Ia. Nasza grupa jest idealnie przygotowana do wykorzystania tych danych. W ramach naszego modelu ewolucyjnego uwzględniliśmy najnowsze wyniki akumulacji materii na WDs i obliczyliśmy częstości występowania oraz DTD dla dwóch podstawowych modeli (SDS, DDS) powstawania SN Ia [40]. W ramach tego projektu proponujemy wykonanie obliczeń dla różnych modeli SN Ia w celu pokazania które modele lub jaka ich kombinacja jest w zgodzie z dostępnymi obecnie obserwacjami częstości występowania oraz DDT. Pokażemy też jaka jest zależność tych obliczonych własności od metaliczności i redshiftu. Do tej pory zakłada się, że własności supernowych nie zależą od tych wielkości. Jednakże, wydaje się oczywiste że nie jest to prawdziwe stwierdzenie dla większości z istniejących modeli (np. wraz z metalicznością zmienia się masa powstającego WD oraz tempo akrecji w układach podwójnych). Nasze wyniki pokażą na ile dotychczasowa niezgodność przewidywań z obserwacjami wynikała z powyżej wymienionych uproszczeń w modelowaniu.

Otrzymane wyniki będą wykorzystane dodatkowo do oszacowania wydajności produkcji ciężkich pierwiastków i oceny syntetycznych widm oraz krzywych blasku danych modeli w kontekście porównania ich z dostępnymi obserwacjami. Taka całościowa anal-

iza, od ewolucji progenitora tudzież kombinacji progenitorów (A.Ruiter+K.Belczynski), poprzez modele eksplozji (MPA, Wurzburg, Heidelberg), aż do ostatecznego obliczenia widma oraz krzywej blasku SN Ia (MPA, Mt.Stromlo, LANL) nie była jeszcze nigdy przeprowadzona. Wraz z kilkoma instytucjami (wymienione wyżej) zainicjowaliśmy już tego typu analizę, która ma ostatecznie doprowadzić do zidentyfikowania progenitorów SN Ia.

2. METODOLOGIA

Nasze badania będą wymagały dwóch rodzajów narzędzi: *(i)* kodu syntezy populacji oraz *(ii)* kodu ewolucyjnego. Wyniki obliczeń kodem ewolucyjnym zostaną wykorzystane do kalibracji i udoskonalenia kodu syntezy populacji, który będzie użyty do wytworzenia syntetycznych populacji ULXs, DCOs oraz progenitorów SN Ia.

Stworzyliśmy kod syntezy populacji **StarTrack** [41,42]. Kod ten jest szeroko znany i używany (~ 100 publikacji oraz 3000+ cytacji wyników uzyskanych tym kodem). **StarTrack** jest nowoczesnym narzędziem badawczym. Sama fizyka modelu ewolucyjnego jest na bieżąco uzgadniana z pojawiającymi się obserwacjami oraz przewidywaniami teoretycznymi. Przykładowo, w 2008 roku kod został rozszerzony o ewolucję spinów BH [30], w 2010 uwzględnione zostały najnowsze wyznaczenia utraty masy z masywnych gwiazd [13], w 2011 unowocześniliśmy implementację modelu wybuchów supernowych [28], a w 2012 ufizyczniliśmy opis wspólnej otoczki [22]. Kod **StarTrack** jest w chwili obecnej bezkonkurencyjnym narzędziem w badaniach populacyjnych obiektów zwartych.

Podczas trwania projektu planujemy kolejne udoskonalenie kodu i uwzględnienie wpływu rotacji na ewolucję gwiazdową. Sama rotacja i jej wpływ na układ podwójny (np. oddziaływania pływowe pomiędzy składnikami) są już uwzględnione. Modele ewolucji gwiazdowej z uwzględnieniem rotacji są publikowane przez grupę Genewską [43] oraz można je otrzymać poprzez publicznie dostępny kod Bill'a Paxtona *Mesa* [44]. W pierwszym kroku użyjemy opublikowanych modeli Genewskich do korekty używanych przez nas obecnie modeli gwiazdowych i uwzględnimy w przybliżeniu efekty rotacji na różne populacje gwiazdowe. Następnie wykorzystamy kod *Mesa* do wygenerowania pełnej siatki modeli (3-parametrowa przestrzeń parametrów: masa, metaliczność, rotacja), którą następnie zaadoptujemy w naszej syntezie populacji. Oczekujemy, że niektóre z efektów rotacji (np. zwiększony wiatr, czy efektywniejsze mieszanie w gwieździe) wpłyną na charakterystyczne własności różnych populacji gwiazdowych. Jako, że większość interesujących nas populacji gwiazdowych

przechodzi przez fazy zacieśniania orbity, oznacza to że składniki układów podwójnych są rozkręcane do dużych prędkości i efekty rotacji są znaczące. W chwili obecnej nie istnieje jeszcze kod syntezy populacji, który uwzględniałby efekty rotacji na ewolucję gwiazdową.

Nasze obliczenia, szczególnie te wykonane kodem syntezy populacji, wymagają dużej mocy obliczeniowej (typowo potrzebny jest średniej wielkości klastr komputerowy na około 3 miesiące do wykonania jednego pełnego modelu). Do naszych obliczeń wykorzystamy trzy dostępne nam klastry komputerowe (**Futuro**, University of Texas; **Sugar**, Syracuse University; **PSK Copernicus Center PAN**) oraz będziemy aplikować o czas w ogólnie dostępnych krajowych ośrodkach obliczeniowych (**ICM**, **CYFRONET**, **AstroGridPL**). Jednakże, podejmimy próbę wykorzystania mocy obliczeniowej prywatnych użytkowników podłączonych do Internetu. Używając **Otwartej Infrastruktury Przetwarzania Rozproszonego Berkeley** (wykorzystana np. w programie **Einstein@home**). Ta platforma pozwala na wykorzystanie czasu obliczeniowego procesorów na komputerach które są podłączone do danego programu, a których w danym momencie się nie wykorzystuje. Pozwala to na użycie prywatnych komputerów pod warunkiem że dany użytkownik zgodzi się na podłączenie do naszego programu i wykorzystanie swojego komputera w celach naukowych. Nasz projekt będziemy szeroko reklamować w Internecie, mediach oraz prowadzimy też wstępne rozmowy z **Centrum Nauki Kopernik** w celu reklamy naszej idei. Wprowadzimy najpierw testową sieć w ramach Obserwatorium Astronomicznego UW wykorzystując do obliczeń komputery typu desktop studentów oraz doktorantów. Następnie otworzymy nasz program **Wszechswiat@domu** dla szerokiej publiczności, oferując społeczeństwu nie tylko bezpośredni udział w badaniach naukowych, ale również zrozumienie samych problemów astrofizycznych nad którymi pracujemy poprzez popularno-naukowe eseje, które będą towarzyszyły naszym kolejnym obliczeniom. Program ten będzie podłączony bezpośrednio do naszej bazy danych www.syntheticuniverse.org.

3. EFEKT

Efektom naszego projektu będzie obszerna baza danych zawierająca informacje o najnowszych modelach ultrajasných źródeł rentgenowskich, o źródłach fal grawitacyjnych oraz o progenitorach supernowych typu Ia. Baza posłuży nam do analizy powyżej wymienionych obiektów w ramach powyżej opisanych projektów. Przewidujemy ~ 3 publikacje naukowe w recenzowanych czasopiśmie międzynarodowych z

każdego z 3 projektów.

4. NOWATORSKI CHARAKTER

Nasza baza danych będzie pierwszą tego typu biblioteką dostępną dla grup naukowych z całego świata. W sektorze publicznym będziemy pierwszym w Polsce projektem naukowym, który aktywnie wykorzysta moc obliczeniową domowych komputerów użytkowników nie związanych bezpośrednio z pracą naukową.

5. ZNACZENIE PROJEKTU

Nasz projekt zawiera trzy bardzo jasno określone zadania naukowe. Każde z nich znajduje się w samej czołówce do tej pory nierozwiązanych problemów astrofizyki gwiazdowej. Nad każdym z zagadnień pracuje aktywnie wiele zespołów na całym świecie. W obrębie naszego zespołu będziemy poszukiwali rozwiązań każdego z tych problemów w sposób taki jak to zostało opisane w Celach Naukowych. Jednakże, udostępnimy nasze dane modelowe wszystkim zainteresowanym grupom badawczym, mając nadzieję że nawet jeżeli nam się nie uda któregoś z problemów rozwiązać, to nasza biblioteka albo przybliży rozwiązanie albo pozwoli komuś innemu rozwiązać dany problem. Już obecnie wyniki naszych obliczeń są intensywnie wykorzystywane do interpretacji obserwacji *Chandry* przez grupę z Harvardu [45,46,47,48]. Natomiast dane z naszej testowej wersji bazy danych zostały w ciągu kilku miesięcy zaadaptowane do badań nad mikrosoczewkowaniem (Jeremy Schnittman, NASA), do testowych poszukiwań

sygnału w symulatorach *Einstein Telescope* (Tania Regimbau, Nicea) oraz do oceny ewolucji chemicznej w Galaktyce (Stephan Rosswog, Albanova University).

6. POWOŁANIE ZESPOŁU

1) Ashley Rüter, dr (Max Planck Institute for Astrophysics, Germany: postdoc): ekspert od supernowych typu Ia.

2) Michał Dominik, mgr. (Obserwatorium Warszawskie: doktorant 3-rok): w chwili rozpoczęcia projektu będzie już po obronie doktoratu. Ekspert od układów NS-NS/BH-NS/BH-BH.

3) Grzegorz Wiktorowicz, mgr. (Obserwatorium Warszawskie: doktorant 3-rok): oczekiwana obrona doktoratu w trakcie trwania projektu. Zajmuje się studiami układów rentgenowskich oraz źródłami ULX.

4) Paulina Karczmarek, mgr. (Obserwatorium Warszawskie: doktorantka 1-rok): oczekiwana obrona doktoratu pod koniec projektu. Zajmuje się wdrożeniem szczegółowych obliczeń ewolucyjnych z kodu *Mesa* i grupy Genewskiej do naszej syntezy populacji. Gwiazdy RR Lyrae, supernowe Ia.

5) Marek Walczak (Obserwatorium Warszawskie: magistrant): będzie doktorantem podczas trwania grantu. Obecnie zajmuje się rozwojem modeli gwiazd powyżej $150M_{\odot}$ zarówno w kontekście ULXs i DCOs.

6) Krzysztof Belczyński, dr hab. (Obserwatorium Warszawskie): kierownik projektu. Rozwój biblioteki *Synthetic Universe* oraz inicjacja programu *Wszechswiat@domu*. 11 lat od doktoratu (30 listopada 2001).

REFERENCES

- [1] Fabbiano, P., 1989, *ARA&A*, 27, 87
- [2] Ziolkowski, J., 2010, *Mem. Soc. Astro. Ital.*, 81, 294
- [3] Feng, H., & Soria, R., 2011, *New Astronomy Reviews*, submitted (arXiv:1109.1610)
- [4] Walton, D., et al., 2011, *MNRAS*, 416, 1844
- [5] Rao, F., Feng, H., & Kaaret, P., 2010, *ApJ*, 722, 620
- [6] Clark, D., et al., 2005, *ApJ*, 631, L109
- [7] Soria, R., & Gosh, K., 2009, *MNRAS*, *ApJ*, 696, 287
- [8] Done, C., & Kubota, A., 2006, *MNRAS*, 371, 1216
- [9] Abramowicz, M., & Fragile, C., 2011, *Living Reviews in Relativity*, submitted (arXiv:1104.5499)
- [10] Colbert, E. J. M., & Mushotzky, R. F. 1999, *ApJ*, 519, 89
- [11] Begelman, M., 2002, *ApJ*, 568, L97
- [12] King, A., et al. 2001, *ApJ*, 552, L109
- [13] Belczyński K., et al., 2010, *ApJ*, 714, 1217
- [14] Poutanen, J., et al., 2007, *MNRAS*, 377,1187
- [15] Mappeli, M., et al., 2010, *MNRAS*, 408, 234
- [16] Crowther, P., et al. 2010, *MNRAS*, 408, 731
- [17] Walczak, M., Belczyński K., Mandel, I., Miller, C., Fryer, C., Brown, D., Bunanno, A. 2012, in preparation
- [18] Nelemans, G., et al. 2001, *A&A*, 375, 890
- [19] Kalogera, V. et al. 2004, *ApJ*, 601, L179
- [20] Panter, B. et al. 2008, *MNRAS*, 391, 1117
- [21] Belczyński, K., et al. 2010, *ApJ*, 715, L138
- [22] Dominik, M., et al. 2012, *ApJ*, 759, 52
- [23] Bulik, T., et al. 2011, *ApJ*, 730, 140
- [24] Kim, C., et al. 2010, *New Astr. Rev.*, 54, 148
- [25] Belczyński, K., Bulik, T., Bailyn, C., 2011, *ApJ*, 742, L2
- [26] Aasi, J., et al. 2012, *Phys. Rev. D.*, submitted (arXiv:1209.6533)
- [27] Belczyński, K., Dominik, M., 2012, *ApJ*, submitted (arXiv:1208.0358)
- [28] Belczyński, et al. 2012, *ApJ*, 757, 91
- [29] Kowalska, I., et al. 2012, *A&A*, 541, 120
- [30] Belczyński, K., et al. 2008, *ApJ*, 682, 474
- [31] Belczyński, K., et al. 2006, *ApJ*, 648, 1110
- [32] Belczyński, K. et al. 2010, *ApJ*, 708, 117
- [33] Thielemann, F. et al. 2004, *New Astron. Rev.*, 48, 605
- [34] Riess, A. et al. 1998, *AJ*, 116, 1009
- [35] Nomoto, K. et al. 2007, *ApJ*, 663, 1269
- [36] Whelan, J., & Iben, I. 1973, *ApJ*, 186, 1007
- [37] Webbink, R. 1984, *ApJ*, 277, 355
- [38] Woosley, S., & Weaver, T. 1994, *ApJ*, 423, 371
- [39] Shen, K. et al. 2010, *ApJ*, submitted (arXiv:1002.2258)
- [40] Rüter, A., Belczyński, K., & Fryer, C. 2009, *ApJ*, 699, 202
- [41] Belczyński, K., et al. 2002, *ApJ*, 572, 407
- [42] Belczyński, K., et al., 2008, *ApJS*, 174, 223
- [43] Meynet, G., et al. 2009, arXiv:0910:3856
- [44] Paxton, B. 2004, *PASP*, 116, 699
- [45] Linden, T., et al. 2009, *ApJ*, 699, 1573
- [46] Luo, B., et al. 2012, *ApJ*, 749, 130
- [47] Basu-Zych, A., et al. 2012, *ApJ*, accepted (arXiv:1210.3357)
- [48] Fragos, T., et al. 2012, *ApJ*, accepted (arXiv:1206.2395)