

### **Popularnonaukowe streszczenie projektu (w języku polskim)**

Nasz Wszechświat jest pełen egzotycznych, fascynujących obiektów. Jednymi z nich niewątpliwie są czarne dziury, które same z siebie nie promieniują żadnego znanego nam widma elektromagnetycznego. Dzieje się tak dlatego, iż masa i grawitacja czarnej dziury są tak wielkie, że nawet światło nie może z niej uciec. Do dnia dzisiejszego naukowcy znają dwa rodzaje czarnych dziur w zależności od ich masy. Gwiazdowe czarne dziury powstają w ostatnim stadium ewolucji masywnych gwiazd, podczas wybuchu supernowych. Ich masy mogą być nawet kilkanaście razy większe niż nasze Słońce. Drugim rodzajem są supermasywne czarne dziury (z ang.: SMBH) w centrach galaktyk, o masach milionów a nawet miliardów mas Słońca. Takie galaktyki często wykazują się dużą aktywnością (aktywne jądra galaktyk z ang.: AGN) co czyni je najjaśniejszymi źródłami we Wszechświecie. Od lat 60-tych rozumiemy, że ta olbrzymia ilość promieniowania powstaje w wyniku opadania (akrecji) materii na czarną dziurę. W procesie akrecji całkowita ilość wydzielanej energii na sekundę jest miliardy razy większa niż ta wyświecana ze Słońca. Jednakże proces opadania na czarną dziurę okazał się bardziej skomplikowany niż myśleliśmy, gdyż dodatkowo towarzyszy mu wypływ materii do ośrodka międzygalaktycznego. Potwierdzają to radiowe obserwacje dżetów w AGN-ach, oraz rentgenowskie obserwacje wypływów zjonizowanej plazmy. W naszych badaniach zajmujemy się wypływami tego drugiego rodzaju, czyli pracujemy nad naturą ciepłego gazu wywiewanego ze środka aktywnego jądra. Gaz ten, popularnie zwany ciepłym wiatrem, widzimy tylko dlatego, że pochłania on energię wyświecaną przez opadającą materię, o czym świadczy obecność licznych linii absorpcyjnych w rentgenowskich widmach tych źródeł. Naukowcy badają naturę tego gazu, odkąd w latach 90-tych odkryto pierwsze oznaki absorpcji rentgenowskiej. Wiele pytań nadal pozostaje bez odpowiedzi: jakie jest pochodzenie ciepłego wiatru i jaki jest jego związek z akrecją materii na czarną dziurę. Próbuje się określić skład chemiczny wypływu i jego oddziaływanie z różnymi składnikami galaktyki. Jak zawartość pierwiastków ciężkich w ciepłych wiatrach wiąże się z metalicznością całego Wszechświata? W niniejszym projekcie chcemy odpowiedzieć na niektóre z tych pytań wykonując symulacje numeryczne i dopasowując je do najdokładniejszych danych rentgenowskich tych obiektów.

Promieniowanie z centrum galaktyki oświetla wypływający gaz, co prowadzi do jego silnej jonizacji. W zjonizowanych atomach elektrony przeskakują między poziomami pochłaniając kwanty promieniowania i dlatego obserwujemy linie absorpcyjne w widmach AGN-ów. Ponieważ materia jest gorąca, linie te widzimy w zakresie rentgenowskim i ultrafioletowym, a pochłaniający gaz nazywany jest ciepłym ośrodkiem absorpcyjnym. Promieniowanie rentgenowskie z kosmosu nie przechodzi przez warstwę atmosfery ziemskiej, dlatego nasz projekt wymaga użycia danych satelitarnych. Zamierzamy przeanalizować obserwacje ciepłych ośrodków absorpcyjnych wykonując symulacje numeryczne przepływu promieniowania przez zjonizowany gaz. Rezultatem naszych obliczeń jest modelowe widmo, które powstaje po przejściu promieniowania przez ciepły gaz w równowadze termicznej i jonizacyjnej. Symulacje uwzględniają przejścia atomowe na zjonizowanych pierwiastkach ciężkich, dzięki czemu potrafimy odtworzyć obserwowane linie absorpcyjne. Porównanie wyników obliczeń do obserwacji pozwoli nam wyznaczyć parametry gazu takie jak: temperatura, gęstość, stopień jonizacji oraz jego skład chemiczny.

Nasze badania przyczynią się do zrozumienia jak gaz wylatujący z okolic SMBH oddziałuje z obszarem międzygalaktycznym (sprzężenie zwrotne z ang.: AGN feedback). Poznanie warunków fizycznych ciepłych wiatrów pozwoli nam zrozumieć oddziaływanie promieniowania z gorącą materią, co z pewnością będzie mało zastosowanie w kontekście innych obiektów astrofizycznych. W szczególności planujemy zbadać zawartość pierwiastków ciężkich w tym gazie, zwłaszcza żelaza, gdyż pierwiastek ten w danych rentgenowskich widać najdokładniej. Głównym celem naszego projektu jest wyznaczenie rozkładu absorpcji (z ang.: AMD) w AGN-ach, czyli jak zmienia się gęstość kolumnowa oddziałujących jonów ze stopniem jonizacji ośrodka. W przypadku jednego obiektu udało nam się odtworzyć rozkład absorpcji, który doskonale pasował do obserwacji. Chcemy podobną analizę wykonać w przypadku wszystkich pozostałych obiektów, dla których inne grupy badawcze wyznaczyły rozkład absorpcji z obserwacji. Nasze badania pozwolą zrozumieć rozkład pierwiastków ciężkich we Wszechświecie.

Dane rentgenowskie AGN-ów wykazujących ciepłą absorpcję pochodzą z teleskopów o najwyższej możliwej rozdzielczości: *Chandra* i *XMM-Newton*. Pomiary wymagają długiego czasu obserwacji, dlatego znamy tylko kilka obiektów, dla których rozkład absorpcji został obserwacyjnie wyznaczony. Tylko nasza grupa badawcza potrafi go odtworzyć w symulacjach numerycznych. W drugiej kolejności, planujemy użyć nasze policzone widma do wykonania symulacji sygnału dla nowego satelity rentgenowskiego *ATHENA*, zaakceptowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną, z planem wylotu w roku 2028. Jeden z detektorów *ATHENy*, o nazwie *X-IFU*, będzie obserwował linie z pierwiastków ciężkich z dokładnością dziesięciokrotnie większą od obecnie działających teleskopów. Planujemy ocenić z jaką dokładnością instrument *X-IFU* zobaczy absorpcję w AGN-ach. Taka ocena jest bardzo przydatna w fazie planowania i kalibracji instrumentu, a polscy naukowcy i inżynierowie są w pełni zaangażowani w budowę *ATHENy*.