Charakterystyka pyłu kosmicznego w szerokim zakresie widmowym: od obłoków pyłowych Drogi Mlecznej, do młodych galaktyk aktywnych

Pył jest zaskakująco powszechnym składnikiem Wszechświata, którego obecność stwierdzono w różnych układach astrofizycznych, od gęstych obłoków ośrodka międzygwiazdowego na obrzeżach Drogi Mlecznej, aż po jądra aktywnych galaktyk, w których znajdują się supermasywne czarne dziury. Interesująca jest jednak nie tylko sama obfitość kosmicznego pyłu, ale i jego znaczenie fizyczne, gdyż cząsteczki pyłu są ważnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie chemii ośrodka międzygwiazdowego, a nawet ośrodka międzygalaktycznego. Dla przykładu, pył osłania mniejsze cząsteczki gazu przed działaniem promieniowania UV, zapewnia powierzchnie czynną dla aktywnej chemii, dominuje fotoelektryczne ogrzewanie gazu, i kontroluje równowagę jonizacyjną plazmy. Mając na uwadze ten szeroki kontekst, w swojej pracy prowadziłam badanie pyłu kosmicznego w różnych wybranych systemach astrofizycznych, używając różnorakich teleskopów dostarczających dobrej jakości dane w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego, jednak głównie skupiając się na podczerwieni.

Pierwsza część mojej pracy obejmowała analizę próbki najmłodszych galaktyk radiowych, w których nowonarodzone zwarte dżety, utworzone w wyniku wzmożonej akrecji na supermasywne czarne dziury, oddziałują bezpośrednio z ośrodkiem międzygwiazdowym galaktyk macierzystych. Wraz z zespołem współpracowników, dla starannie wybranej próbki takich młodych radiogalaktyk przeprowadziliśmy systematyczną analizę danych w zakresie średniej podczerwieni (ang.: "mid infra-red", dalej MIR), zebranych z wykorzystaniem obserwacji o niskiej rozdzielczości satelity WISE oraz satelity IRAS. W zgromadzonych danych zaobserwowaliśmy szeroki zakres kolorów MIR, z dominującym udziałem albo chłodniejszego pyłu z ośrodka międzygwiazdowego, albo gorętszego pyłu z okołojądrowego rejonu osłaniającego centra galaktyk. W przypadku pierwszej klasy obiektów, obserwowane kolory MIR świadczyły o wyraźnej aktywności formowania się gwiazd w tempie przekraczającym $0.5 M_{\odot}\,\mathrm{yr}^{-1}$. Porównaliśmy rozkład kolorów MIR w naszej próbce z rozkładem obserwowanym dla różnych

innych typów galaktyk aktywnych, znajdując związek między cyklem aktywności dżetów, a trwającym procesem formowaniem się gwiazd: galaktyki, w których obecność populacji młodycych gwiazd jest bardziej wyraźna, zdają się charakteryzować wysoce modulowaną i zazwyczaj krótkotrwałą aktywnością dżetów.

Drugim aspektem moich badań nad pyłem kosmicznym była analiza danych spektroskopowych zebranych przez Kosmiczny Teleskop *Spitzer* dla galaktycznego obłoku pyłowego DC 314.8–5.1, znajdującego się w fazie przed rozpoczęciem epizodu formowania się gwiazd. Obiekt ten stowarzyszony jest z sąsiadującą gwiazdą typu B, która indukuje mgławicę refleksyjną w obłoku. W naszej pracy skupiliśmy się na emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (ang.: "polycyclic aromatic hydrocarbon", dalej PAH) dominujących w całym zakresie MIR. Nasze szczegółowe modelowanie spektralne ujawniło, że intensywność structur PAH zmniejsza się wraz z odległością od gwiazdy jonizującej w kierunku centrum obłoku, jednak w przypadku niektórych struktur ulegając nasyceniu na większych odległościach. Fakt ten można wyjaśnić jako efekt jonizacji wnętrza obłoku przez promieniowanie kosmiczne, w dodatku do fotojonizacji przez sąsiadującą gwiazdę. Ten wniosek został dodatkowo potwierdzony przez zaskakująco duży stosunek kationów do neutralnych PAH odzwierciedlony w obserwowanym stosunku intensywności struktur emisyjnych PAH, a także przez statystycznie istotną korelację między względną wielkością ziaren pyłu a stopniem jonizowacji w całym obłoku. Ogólnie rzecz biorąc, nasze wyniki wskazały na odmienne warunki fizyczne charakteryzujące DC 314.8–5.1 w porównaniu z obłokami molekularnymi, w których zachodzi aktywny proces formowania się gwiazd.

W moim trzecim projekcie badawczym przeprowadziliśmy dodatkową analizę DC 314.8–5.1 w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego, korzystając z przeglądu optycznego GAIA, przeglądu w bliskiej podczerwieni 2MASS, obserwacji w średniej podczerwieni WISE, dedykowanego obrazowania MIR za pomocą Kosmicznego Teleskopu Spitzera, oraz danych rentgenowskich uzyskanych za pomocą teleskopu Swift-XRT. Głównym celem tej analizy było zidentyfikowanie potencjalnych protogwiazd i młodych obiektów gwiazdowych (ang.: "young

stellar objects", dalej YSO) powiązanych z obłokiem. Nasza szczegółowa analiza zebranych danych nie wykazała istnienia żadnych obiektów tego typu, potwierdzając bardzo wczesny etap ewolucyjny systemu. DC 314.8-5.1 stanowi zatem gęsty i zwarty rezerwuar zimnego pyłu i gazu, dający wyjątkową możliwość wglądu w pierwotną formę ośrodka międzygwiazdowego. Brak protogwiazd lub YSO umożliwia w szczególności zdiagnozowanie pierwotnej struktury temperatury pyłu, a także rzetelną charakterystykę oddziaływania obłoku z cząstkami galaktycznego promieniowania kosmicznego. W odniesieniu do tego pierwszego zagadnienia, na podstawie danych satelitarnych w zakresie mikrofalowym *Planck*, oraz dalekiej podczerwieni IRAS, stwierdziliśmy obecność w systemie gorącego pyłu o temperaturach sięgających 200 K, w dodatku do dominującego składniku pyłu na 14 K. W odniesieniu do drugiej kwestii zauważyliśmy, że podczas gdy promieniowanie kosmiczne o stosunkowo niskich energiach może wyjaśnić wspomnianą wcześniej wysoką jonizację obłoku, promieniowanie kosmieczne o wyższych energiach powinno jednocześnie prowadzić do produkcji wysokoenergetyzcnych neutrin oraz fotonów γ, poprzez rozpad naładowanych i neutralnych pionów powstałych w wyniku nieelastycznych zderzeń promieni kosmicznych z zimnym gazem obłoku.

Podsumowując, w swojej pracy wykazałam iż pył kosmiczny jest niezwykle ważnym elementem diagnostyki wielu procesów astrofizycznych, w tym między innymi: cyklu aktywności relatywistycznych dżetów w aktywnych jądrach galaktyk, interakcji ultrarelatywistycznych promieni kosmicznych z ośrodkiem międzygwiazdowym, i wreszcie wczesnych etapów formowania się gwiazd w obłokach molekularnych.