

Dust Attenuation in Dusty Star-Forming Galaxies Using Spectral Energy Distribution

Mahmoud Hamed

Pomimo niewielkiego udziału w całkowitej masie ośrodka międzygwiazdowego, pył odgrywa kluczową rolę w ewolucji galaktyk. Ma on też znaczący wpływ na kształt widmowego rozkładu energii galaktyk. Pył tłumi światło gwiazdowe poprzez absorbowanie fotonów o krótkiej długości fali pochodzących od nowo powstałych gwiazd i emituje je termicznie w podczerwieni. W ostatnich latach, dzięki teleskopom podczerwonym oraz submilimetrycznym, takim jak Kosmiczne Obserwatorium Herschela czy The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), możliwe było zaobserwowanie zimnego pyłu w milionach galaktyk, w szerokim zakresie przesunięć ku czerwieni.

Aby uwzględnić istnienie pyłu podczas modelowania widma elektromagnetycznego galaktyk, należy założyć prawo tłumienia pyłu, które opisuje, w jaki sposób emisja gwiazdowa jest absorbowana przez pył. Prawa tłumienia są reprezentatywne dla różnych rozkładów pyłu w stosunku do populacji gwiazd i różnią się od prostych modeli ekranowych do bardziej złożonych geometrii pyłu -- gwiazdy. Prawa te są reprezentowane przez krzywe tłumienia, których nachylenie określa jak silna jest absorpcja pyłu w danym zakresie długości fal. Ostatnie badania pokazują niejednorodność charakterystyk krzywych tłumienia pyłu przy rekonstrukcji SED galaktyk. Co więcej, założone nachylenie tłumienia pyłu w funkcji długości fali może silnie zmienić oszacowanie głównych własności fizycznych galaktyk uzyskanych przez dopasowanie obserwowanego SED do modeli teoretycznych. W szczególności bardzo silny jest wpływ założonej funkcji tłumienia pyłu na oszacowane masy gwiazdowe galaktyk. Dlatego też, nachylenie tłumienia pyłu ma bezpośredni wpływ na nasze zrozumienie tego, jak galaktyki budują swoje masy gwiazdowe w czasie kosmicznym.

Pomimo ciągle rosnącej wiedzy w dziedzinie astronomii pozagalaktycznej, kluczowe pytania pozostają bez odpowiedzi: Jakie prawo tłumienia pyłu należy stosować dla galaktyk znajdujących się na wysokim przesunięciu ku czerwieni?

Jakie są warunki fizyczne galaktyk i ich otoczenia, od których zależą krzywe tłumienia pyłu? W niniejszej pracy staram się odpowiedzieć na powyższe pytania analizując widma energetyczne galaktyk i badając korelacje pomiędzy tłumieniem pyłu, a podstawowymi własnościami fizycznymi tych galaktyk. Najpierw badam złożony układ dwóch galaktyk w okolicach kosmicznego południa ($z \sim 2$, czyli w okresie, kiedy tempo tworzenia gwiazd w galaktykach było najsilniejsze).

Jedna z tych galaktyk jest masywną ultra pyłową galaktyką, wykrytą przez teleskop ALMA. Analizuję rolę tłumienia pyłu w tych galaktykach, a przede wszystkim znaczenie ich morfologii w określaniu ich cech fizycznych, takich jak ich położenie względem głównego ciągu galaktyk gwiazdotwórczych.

Aby uogólnić osobliwy aspekt wpływu morfologii na absorpcję i ~emisję pyłu w pyłowych galaktykach gwiazdotwórczych badanych w pierwszej części pracy, rozszerzyłem swoją analizę. W tym celu zbudowałem największą próbkę galaktyk na wysokim przesunięciu ku czerwieni ($z \sim 2$) badaną pod kątem tłumienia pyłu, dla której dostępne są obserwacje ALMA (122 galaktyki). Dla tych galaktyk zmierzyłem promienie efektywne w zakresie ultrafioletowym i~podczerwonym. Dzięki dokładnemu modelowaniu widm energetycznych, wyprowadzam kluczowe parametry fizyczne rządzące ewolucją galaktyk i~badam korelację pomiędzy nimi. Skupiam się na emisji pochodzącej z widma części gwiazdowej i pyłowej z jednej strony, a z drugiej strony prawem tłumienia pyłu preferowanym dla tych galaktyk.

W ostatnim kroku mojej analizy przeprowadzam badanie relacji tłumienia pyłu dla galaktyk znajdujących się w połowie wieku istnienia Wszechświata ($z \sim 0.7$). Dla tej próbk i nie są dostępne obserwacje submilimeterowe pochodzące z teleskopu ALMA, jednak próbka ta, pochodząca z VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey (VIPERS) posiada obserwacje spektroskopowe, w tym też linie emisyjne. Badam wpływ rozkładu przestrzennego kontinuum gwiazdowego na tłumienie pyłu (w płaszczyźnie IRX- β , gdzie IRX zdefiniowane jest jako stosunek jasności w podczerwonym zakresie widma galaktyki do jasności w zakresie ultrafioletowym, natomiast β jest nachyleniem widma w zakresie ultrafioletu i jest wskaźnikiem tłumienia) dla tych galaktyk. Analizuję również rolę metaliczności gazu, kąta nachylenia w~stosunku do obserwatora, a przede wszystkim środowiska, w którym przebywają.

Wyniki tych prac pokazują, że własności morfologiczne galaktyk są niezwykle istotne w różnych zakresach przesunięć ku czerwieni. Podczas modelowania widm energetycznych galaktyk własności te powinny zostać uwzględnione aby prawidłowo dobrać prawo tłumienia pyłu i~w sposób poprawny oszacować masy gwiazdowe i inne wielkości fizyczne.

Co więcej, znalazłem ważne korelacje pomiędzy tłumieniem pyłu a innymi właściwościami fizycznymi, takimi jak metaliczność, zawartość galaktyk i względne przestrzenne położenie obszarów gwiazdowych i pyłowych. Wykazałem, że galaktyki o stosunkowo zwartej emisji gwiazdowej preferowały silniej nachylone (w funkcji długości fali) prawo tłumienia, niż galaktyki o rozleglejszym obszarze emisji gwiazdowej.

Stwierdziłem silną zależność pomiędzy relacją IRX- β a metalicznością gazu oraz parametrami opisującymi populacje gwiazdowe: ich wiek, masa gwiazdowa, czy tempo formowania się gwiazd znormalizowane do masy gwiazdowej galaktyki. Również kształt fizyczny populacji gwiazdowej mierzony przez indeks Sersica ma wpływ na relację IRX- β . Metaliczność jest jednym z motorów zmienności tłumienia pyłu. Wyższa metaliczność oznacza, że w galaktyce znajdują się starsze populacje gwiazdowe, a co za tym idzie, także masa gwiazdowa jest większa - ma to silny wpływ na parametr β .

Z moich analiz wynika, że im wyższa masa pyłu (normalizowaną do masy gwiazdowej) tym więcej młodych populacji gwiazdowych znajduje się w galaktyce. Ich emisja powoduje przesunięcie galaktyk o wyższej masie pyłu w kierunku niższych wartości galaktyk od relacji IRX- β w kierunku niższych wartości β .

Z moje analizy wynika, że bardziej zwarte galaktyki są świadkami większego tłumienia niż galaktyki mniej zwarte. Istnieje subtelna różnica w rozproszeniu tłumienia pyłu w zależności od nachylenia kąta galaktyki w stosunku do obserwatora, ale różnica ta nie jest statystycznie istotna. Równocześnie, otoczenie w jakim znajduje się galaktyka nie wpływa znacząco na tłumienie pyłu dla galaktyk znajdujących się około 7 miliardów lat od nas ($z \sim 0.7$).

Wyniki te są obiecujące w erze wielkich przeglądów, takich jak James Webb Space Telescope (JWST), który pozwala nam poszerzyć wiedzę o galaktykach o wysokim przesunięciu ku czerwieni i jeszcze dokładniej zbadać relacje pył - populacje gwiazdowe. Również Legacy Survey of Space and Time (LSST) - nadchodzący wielki przegląd optyczny, będzie obserwował setki tysięcy galaktyk za pomocą map optycznych/UV o wysokiej rozdzielczości. Badania nad zależnością tłumienia pyłu od czynników związanych z koncentracją gwiazd, rozmiarami obszarów gwiazdowych, metalicznością i innymi właściwościami fizycznymi galaktyk pozwoli na właściwe oszacowanie tłumienia pyłu i prawidłową analizę fizyczną tych obiektów.