

## Streszczenie

Standardowy model kosmologiczny  $\Lambda$ CDM (Lambda Cold Dark Matter) przewiduje, że tworzenie się struktur przebiega hierarchicznie, prowadząc do powstania wielkoskalowej sieci kosmicznej. Symulacje komputerowe o wysokiej rozdzielczości sugerują, że ewolucja hal ciemnej materii (DM) jest ściśle powiązana z tą siecią węzłów, włókien, ścian i pustych przestrzeni. Sieć kosmiczna nie pełni jedynie roli biernego tła, lecz może wywierać aktywny wpływ dynamiczny na struktury znajdujące się w jej obrębie. Niniejsza rozprawa bada, w jaki sposób środowisko sieci kosmicznej otaczające halo ciemnej materii jest powiązane z liczebnością, strukturą wewnętrzną i historią ewolucji populacji subhalo w teraźniejszości (przesunięcie ku czerwieni  $z = 0$ ) i przeszłości (wyższe przesunięcia ku czerwieni), a także analizuje, w jaki sposób zależności te mogą przekładać się na współczynnik wzmocnienia podstruktury (*boost factor*) potencjalnych sygnatur anihilacji ciemnej materii.

Wykorzystując symulację  $N$ -ciałową COLOR oraz system klasyfikacji sieci kosmicznej CaCTus, analizuję zbiorcze populacje subhalo znajdujące się w halach o stałej masie, położonych w różnych środowiskach sieci kosmicznej, aby oddzielić wpływ środowiska od prostego skalowania masy hal. Moje wyniki sugerują, że środowisko sieci kosmicznej gospodarza wywiera systematyczny wpływ na populacje subhalo niezależnie od masy gospodarza. Subhalo znajdujące się w halach we włóknach są zazwyczaj o 5 do 30% liczniejsze niż średnia kosmiczna, podczas gdy te znajdujące się w halach w pustkach wykazują deficyt sięgający nawet 50% w górnej części rozkładu mas subhalo. Całkowity udział masowy subhalo waha się od 2 do 20% w zależności od środowiska. Ponadto subhalo znajdujące się w halach we włóknach wydają się być o 5 do 9% bardziej skoncentrowane niż te znajdujące się w halach w pustkach, co jest najbardziej widoczne w systemach o najniższej masie.

W przypadku modeli, w których ciemna materia anihiluje z wytworzeniem promieniowania gamma, rozszerzamy tę analizę na współczynnik wzmocnienia przewidywanej anihilacji ciemnej materii w podstrukturach. Ponieważ tempo anihilacji jest proporcjonalne do kwadratu lokalnej gęstości, zmiany właściwości subhalo znajdujących się w halach w różnych środowiskach mogą wpływać na współczynnik wzmocnienia. Uwzględnienie zależnych od środowiska koncentracji hal macierzystych, funkcji masy subhalo oraz profili gęstości wewnętrznej w dwóch modelach półanalitycznych, prowadzi do konkluzji, że subhalo znajdujące się w halach w pustkach wykazują osłabienie współczynnika wzmocnienia o około 30% w stosunku do średniej kosmicznej, podczas gdy te znajdujące się w halach we włóknach wykazują



zależne od masy przejście, od osłabienia o  $\sim 15\%$  przy niskich masach gospodarza do wzmocnienia o  $\sim 12\%$  przy wysokich masach gospodarza. Rozprawa zawiera również empiryczny wzór na dopasowanie tego współczynnika wzmocnienia uwarunkowanego środowiskiem jako potencjalną podstawę do przyszłego wdrożenia.

Praca bada fizyczne pochodzenie tych sygnatur, śledząc historię subhalo w czasie kosmicznym za pomocą drzew połączeń. Porównuję populacje subhalo w różnych środowiskach, zarówno w ich obecnym stanie, jak i w stanie szczytowym, zdefiniowanym jako moment, w którym osiągają one maksymalną masę lub prędkość w swojej historii połączeń. Moje wyniki są zgodne z dwuetapowym obrazem ewolucji. Część zależności środowiskowych może być już ustalona, zanim subhalo zostaną wchłonięte przez swojego gospodarza, co znajduje również odzwierciedlenie w ich właściwościach szczytowych. Następnie dalsza ewolucja w obrębie gospodarza dodatkowo modyfikuje te zależności poprzez zależne od środowiska procesy pływowe. Współczynniki strukturalne sugerują, że masa na obrzeżach subhalo uległa znacznemu zmniejszeniu, spadając do 25–60% wartości szczytowej w dniu dzisiejszym. Z drugiej strony, potencjał strukturalny w środku wydaje się bardziej odporny, a maksymalna prędkość kołowa zachowuje 70–90% swojej amplitudy szczytowej.

Analiza wcześniejszych etapów (migawki symulacji) sugeruje, że porządkowanie środowiskowe narasta stopniowo podczas głównych faz formowania się struktur. Przy przesunięciu ku czerwieni  $z = 2$  funkcja masy subhalo wykazuje zróżnicowanie w przypadku subhalo znajdujących się w halach w proto-włóknach, podczas gdy zależność między maksymalną prędkością kołową a odpowiadającym jej promieniem wykazuje 30–40-procentową zmienność środowiskową. Trendy te mogą mieć znaczenie dla półempirycznego modelowania galaktyk i hal, ponieważ są one zasadniczo zgodne ze wskaźnikami opartymi na prędkości, takimi jak szczytowa prędkość subhalo w porównaniu z obecną masą związaną, i mogą stanowić użyteczne punkty odniesienia oparte na symulacjach dla przyszłych badań ewolucji satelitów środowiskowych, statystyk podstruktury związanych z soczewkowaniem oraz tendencji w tworzeniu się galaktyk.

Wyniki niniejszej pracy wskazują, że pominięcie wpływu kosmicznej sieci otaczającej halo macierzyste podczas modelowania statystyk subhalo oraz sygnałów anihilacji ciemnej materii przy  $z = 0$  i wyższych przesunięciach ku czerwieni może powodować systematyczne odchylenia rzędu kilkudziesięciu procent. Wskazuje to, że należy uwzględnić otoczenie gospodarza w skali makro jako potencjalnie ważny element w przyszłych badaniach populacji galaktyk satelitarnych, demografii podstruktury w czasie kosmicznym, czułości soczewkowania grawitacyjnego oraz prognoz dotyczących pośredniego wykrywania ciemnej materii.

