

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ**

Чорній Юрій Богданович

УДК 524.8

**ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ  
ГАЛАКТИК І КВАЗАРІВ  
ТА СПЕКТР ПОТУЖНОСТІ КОСМОЛОГІЧНИХ  
ФЛЮКТУАЦІЙ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ**

01.03.02 - Астрофізика, радіоастрономія

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико - математичних наук

Київ - 1997



Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Астрономічній обсерваторії Львівського державного університету ім. Ів. Франка.

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник  
Новосядлий Богдан Степанович,  
Астрономічна обсерваторія Львівського  
державного університету ім. Ів. Франка,  
старший науковий співробітник.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України  
Фомін Петро Іванович,  
Інститут теоретичної фізики ім. М. Боголюбова НАН України,  
м.Київ, завідувач відділом.

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,  
Гнатик Богдан Іванович,  
Інститут прикладних проблем механіки і математики  
ім. Я. Підстригача НАН України, м. Львів,  
старший науковий співробітник.

Провідна установа:

Київський державний університет ім. Т. Г. Шевченка,  
Астрономічна обсерваторія, Міністерство освіти України, м. Київ.

Захист відбудеться "10" квітня 1998 р. о 12 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.74.01  
при Головні астрономічній обсерваторії НАН України  
(252650, Київ-22, Голосіїв, ГАО НАНУ).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Головної  
астрономічної обсерваторії НАН України, (252650, Київ-22,  
Голосіїв, ГАО НАНУ).

Автореферат розісланий "5" березня 1998 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради  
кандидат фіз.-мат. наук

Гусева Н. Г.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність теми.* Серед фізичних і астрофізичних досліджень, які сьогодні проводяться в світі, космологічні є одними з пріоритетних як в галузі експерименту, так і теорії. Це пояснюється тим, що тут переплітаються проблеми фізики Мегасвіту: якими є процеси формування галактик, фізичні умови в міжгалактичному середовищі, джерела енергії випромінювання об'єктів, що знаходяться на космологічних віддальх і т.д. – з однієї сторони, а з іншої – проблеми фізики мікросвіту: який вид матерії (баріони, нейтрино, аксіони, фотіно, нейтраліно і т.д.) домінує у Всесвіті, якими є характеристики невидимих форм матерії, фізичні процеси в ранньому Всесвіті, зокрема, на стадії великого об'єднання фізичних взаємодій. Проблема утворення великомасштабної структури Всесвіту (ВСВ), в свою чергу, є ключовою в космологічній проблематиці, оскільки ряд параметрів сучасної ВСВ є тими даними, які безпосередньо отримуються із спостережень, і які опосередковано, на основі фізичних теорій і космологічних моделей, несуть в собі інформацію про попередні, в тому числі найбільш ранні, неспостережувані епохи еволюції Всесвіту.

В основі сучасної теорії утворення ВСВ є модель нестационарного Всесвіту, в якій найбільш ранні стадії його еволюції описуються інфляційними моделями, а всі наступні – класичними фрідманівськими моделями. У відповідності з цією теорією ВСВ і її елементи (квасари, галактики, скупчення галактик, тощо) утворились під дією гравітаційної нестійкості із гаусівського скалярного поля адіабатичної конденсації густини

речовини в післярекомбінаційну епоху. Післярекомбінаційний спектр потужності таких флюктуацій  $P(k)$  зв'язаний із післяінфляційним  $P_{\text{пл}}(k)$  через перехідну функцію ( $P(k)=P_{\text{пл}}(k)T^2(k)$ ), яка залежить від природи темної матерії (ТМ) та космологічних параметрів (сучасної 3-кривизни простору, постійної Хабла, значення космологічної константи, вмісту баріонів, тощо). Такий спектр є основною характеристикою ВСВ, а адекватне його відтворення – головною проблемою теорії її походження. Прямим шляхом розв'язку цієї проблеми є розрахунок  $P_{\text{пл}}(k)$  в моделях раннього Всесвіту, та розрахунок  $T(k)$  для заданої космологічної моделі (КМ). Інфляційні моделі дають обґрунтування масштабно-інваріантного спектру  $P_{\text{пл}}(k) \sim k^n$ . Проте існує проблема вибору інфляційної моделі: стандартна інфляційна модель передбачає  $n=1$ , однак не виключені моделі з  $n < 1$  та  $n > 1$ . В таких моделях крім скалярної моди збурення (адіабатичні флюктуації) може генеруватись тензорна мода (космологічні гравітаційні хвилі), яка дає вклад в анізотропію температури реліктового випромінювання. Невизначеність із природою ТМ є наступною проблемою теорії. Тому розрахунок основних параметрів ВСВ проводиться з використанням відповідних припущень про модель інфляції та природу ТМ. Важливе значення також має розв'язок оберненої задачі: відтворення відповідних ділянок спектру  $P(k)$  по характеристиках спостережуваних структур різних масштабів. Співставлення теоретичних передбачень із даними спостережень є засобом відбору КМ із заданим спектром потужності  $P(k)$ , і, таким чином, дозволяє прояснити питання про природу ТМ та дати критерій

відбору для інфляційних сценаріїв. Це визначає загальну спрямованість даної роботи.

Пошук розв'язків означених вище проблем включає в себе, зокрема, задачу про відтворення області спектру потужності  $P(k)$ , яка відповідає середнім  $(10 < \gamma \leq 100h^{-1} \text{ Мпк}, h = (H_0/100) \text{ км/с/Мпк}, H_0 - \text{ постійна Хабла в сучасний момент космологічного часу) і малим } (\gamma \leq 10h^{-1} \text{ Мпк}) \text{ масштабам. Вся сукупність спостережуваних даних на великих і середніх масштабах (анізотропія температури реліктового випромінювання, пекулярні швидкості галактик, просторові кореляційні функції галактик і т.д.) дають можливість виділити область допустимих значень параметрів космологічних моделей: } h = 0.5 \div 0.7, \Omega_\Lambda \leq 0.7, \Omega_M \geq 0.3, \Omega_H / \Omega_M \leq 0.2, \Omega_b \cdot h^2 \leq 0.024. \text{ Більш строгі критерії відбору моделей можуть бути отримані шляхом порівняння теоретичних передбачень із даними спостережень на малих масштабах. Але в малих масштабах спостережувані неоднорідності в розподілі речовини } (\delta \equiv \delta\rho / \rho = (\rho - \bar{\rho}) / \bar{\rho}) \text{ на сучасний момент космологічного часу мають великі амплітуди } (\delta \gg 1) \text{ і вже не можуть бути описані лінійною теорією збурень. Тому існує проблема визначення зв'язку між характеристиками спостережуваних елементів ВСВ і початковим (лінійним) спектром } P(k) \text{ флюктуацій, в яких ці елементи утворились в ході еволюції Всесвіту. Визначення моментів утворення та концентрацій галактик і квазарів на фрідманівському космологічному фоні, в областях великомасштабних неоднорідностей, кореляційних функцій галактик і квазарів, із використанням заданого початкового спектру } P(k) \text{ може бути}$

важливим засобом тестування КМ. Цим визначається актуальність завдань, що вирішувались в дисертації.

***Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.***

Даний напрям досліджень був започаткований на астрономічній обсерваторії Львівського університету в середині 80-х років. Результати, що викладені в дисертації, були отримані в рамках виконання держбюджетних тем "Походження великомасштабної структури Всесвіту і спектри первинних збурень" (1994 р.), "Реконструкція первісного спектру космологічних збурень шляхом моделювання еволюції елементів великомасштабної структури Всесвіту" (1995 - 1997 рр.). Даний напрям включений в координаційний план "Фізика, кінематика, еволюція зір і туманностей та інструментальне забезпечення". Рішенням експертної ради з астрономії Відділу науки Науково-методичної ради Міністерства України виконання теми "Формування великомасштабної структури і космологічні параметри в інфляційних моделях Всесвіту" продовжено на 1998 - 2000 рр.

***Мета і задачі дослідження.*** Метою роботи є теоретичне визначення основних характеристик просторового розподілу галактик та квазарів у КМ із заданим початковим спектром  $P(k)$  і тестування цих моделей шляхом порівняння отриманих теоретичних передбачень із даними спостережень. В роботі досліджувались моделі з холодною темною матерією типу аксіонів (ХТМ), з гарячою - типу масивних нейтрино (ГТМ), і гібридні (Г+ХТМ) моделі, в яких розглядають суміші гарячих і холодних частинок. З врахуванням цього в дисертації були поставлені наступні завдання:

1. Розрахувати і порівняти ріст амплітуди флюктуацій густини речовини галактичного масштабу, а також - концентрації і моменти утворення яскравих масивних галактик, в областях великомасштабних неоднорідностей і на фрідманівському критичному фоні для КМ із заданим  $P(k)$ .

2. Розробити метод розрахунку розподілу концентрації квазарів по червоних зміщеннях  $i$ , шляхом співставлення такого розподілу із спостережуваним, провести тестування КМ із заданим  $P(k)$ . Побудувати феноменологічний спектр потужності, узгоджений із спостережуваним розподілом концентрації квазарів по червоних зміщеннях.

3. Розробити метод розрахунку просторової двохточкової кореляційної функції квазарів на різних червоних зміщеннях і з його використанням дослідити можливість теоретичної інтерпретації відповідних даних спостережень для КМ із заданим  $P(k)$ .

#### ***Наукова новизна одержаних результатів.***

1. Загальний розв'язок лінійних рівнянь еволюції флюктуацій густини галактичного масштабу на фоні додатніх великомасштабних флюктуацій з довільним розподілом густини речовини є подальшим розвитком досліджень гравітаційної нестійкості в неоднорідних та анізотропних середовищах та проблеми утворення галактик в теорії походження ВСВ.

2. Теоретичне визначення моментів утворення і концентрацій масивних галактик в областях великомасштабних неоднорідностей типу багатих скупчень, великих порожнин та на критичному космологічному фоні є подальшим розвитком засобів тестування КМ із заданим спектром  $P(k)$ .

3. Застосування нових методів розрахунку концентрації і просторової двоточкової кореляційної функції квазарів на різних червоних зміщеннях  $z$  є удосконаленням засобів тестування КМ із заданим спектром  $P(k)$ .

4. Вперше одержано феноменологічні спектри потужності космологічних флюктуацій, які узгоджені із спостережуваним розподілом концентрації квазарів по  $z$ .

**Практичне значення отриманих результатів.** Виявлені можливості теоретичного визначення окремих характеристик просторового розподілу галактик та квазарів з використанням запропонованих у роботі методів дозволяють ставити задачу про визначення цих характеристик в єдиному комплексі. Внаслідок реалізації нових, зокрема космічних програм спостережень очікуються більш повні і точні дані про розподіл концентрації квазарів по  $z$  і їх кореляційні функції. У зв'язку із цим тестування короткохвильової частини спектру  $P(k)$  може дати дуже важливий критерій відбору для типів ТМ та інфляційних сценаріїв раннього Всесвіту. Тому отримані в дисертації результати можуть бути використані при формуванні спостережуваних програм по дослідженню структури Всесвіту.

**Особистий внесок автора.** Усі результати, що виносяться на захист, були отримані у співавторстві з науковим керівником дисертаційної роботи Б.С. Новосядлим. Автору належать проведення відповідних розрахунків, спільна участь у обговоренні результатів та їх інтерпретації. В дослідженнях еволюції кореляційної функції квазарів автор також приймав участь у постановці задачі. Йому належить припущення, згідно з яким

зменшення амплітуди кореляційної функції квазарів з ростом червоного зміщення  $z$  є тестом на сумісність космологічних моделей із заданим спектром потужності  $P(k)$  та гіпотези про квазари, як ранню стадію еволюції масивних галактик.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідались на семінарах АО Львівського держуніверситету, астрофізичних семінарах ГАО НАНУ, Астрокосмічного центру Фізичного інституту ім. Лебедева РАН (Москва), семінарах "Релятивістська астрофізика та космологія" астрономічної підкомісії наукового товариства ім. Т. Г. Шевченка (Львів), на вузівських, республіканських та міжнародних конференціях: "Ювілейна конференція, присвячена 40-річчю фізичного факультету" (Львів, 1993), "Наукова конференція, присвячена 225-ій річниці заснування Астрономічної обсерваторії Львівського університету" (Львів, 1994), "Астрофізика та космологія після Гамова" (Одеса, 1994), під час проведення міжнародної школи - семінару по радіоастрономії в Торуні (Польща, 1995), на засіданні підсекцій релятивістської астрофізики та космології під час III та IV з'їздів УАА (1994, 1997).

**Публікації.** Основні матеріали дисертації викладені в п'яти статтях у наукових журналах.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і списку літератури. Містить 136 листків машинописного тексту, 3 таблиці, 16 рисунків. Список літератури включає 108 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність проблеми, визначена мета роботи, відзначена її наукова новизна та вказані основні положення, які виносяться на захист.

Перший розділ має оглядовий характер. У ньому коротко викладено основні положення, на яких базується сучасна теорія походження ВСВ: нестационарний Всесвіт, інфляційна модель раннього Всесвіту, класична фрідманівська космологія, гравітаційна нестійкість, анізотропія температури реліктового випромінювання, космологічні моделі із заданими спектрами потужності флюктуацій густини речовини  $P(k)$ . Серед проблем цієї теорії, як центральну, виділено проблему відтворення спектру потужності  $P(k)$  флюктуацій, еволюція яких приводить до утворення галактик, квазарів і інших елементів спостережуваної ВСВ. Важливим засобом при вирішенні цієї проблеми є визначення і теоретична інтерпретація характеристик просторового розподілу галактик і квазарів. Цими характеристиками, зокрема, є концентрації галактик на космологічному фрідманівському фоні та в областях з підвищеною та пониженою в порівнянні з цим фоном густиною речовини, концентрація квазарів та її розподіл на різних червоних зміщеннях, а також двохточкові просторові автокореляційні функції цих об'єктів.

В другому розділі подаються базові положення роботи. В §2.1 приведені основні положення гаусівської статистики, що застосовуються в космологічній проблематиці: поле флюктуацій густини з нормальним розподілом по амплітудах:  $p(\delta) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0^2}} \right) \cdot \exp\left(-\frac{\delta^2}{2\sigma_0^2}\right)$ , їх спектр потужності  $P(k)$  і його

нормування, концентрації піків в первинному гаусівському полі флюктуацій густини і відповідних їм структурних елементів ВСВ, їхні кореляційні функції. В §2.2 розглянуто основи теорії гравітаційної нестійкості флюктуацій густини, еволюція яких приводить до утворення галактик і інших елементів ВСВ. Приведено важливі аналітичні вирази, що описують еволюцію космологічних флюктуацій густини та формування в областях цих флюктуацій відповідних об'єктів. Зокрема, це вираз для визначення на шкалі червоного зміщення, яке відповідає космологічному часу, моментів утворення елементів ВСВ:  $z_c = 0.59\sigma_0\nu - 1$  ( $\nu$  - висота піків, в яких утворюються об'єкти), та вирази, що описують зв'язок між амплітудами великомасштабних неоднорідностей на критичному фідманівському фоні і флюктуацій малого масштабу на фоні таких неоднорідностей.

В третьому розділі вивчається еволюція флюктуацій густини речовини галактичного масштабу на фоні великомасштабних неоднорідностей. В §3.1 розглянуто еволюцію лінійних флюктуацій густини і швидкості речовини на фоні великомасштабної сферично - симетричної неоднорідності з довільним профілем густини. Показано, що при відповідних розподілах густини фонові неоднорідності еволюція лінійних флюктуацій галактичного масштабу проходить швидше, ніж на критичному фідманівському фоні, що в проблемі утворення галактик є важливим для ГТМ - моделей. В §3.2 досліджено розвиток флюктуацій густини галактичного масштабу з довільною початковою амплітудою, який проходить на фоні еволюції

великомасштабних неоднорідностей, що відповідають багатим скупченням галактик і великим порожнинам. Такий розвиток вивчався для КМ з різним типом ТМ. Показано, що в усіх моделях першими утворюються яскраві галактики в центрі багатих скупчень. Потім з'являються яскраві галактики поля і ще пізніше - галактики в порожнинах. Відповідні інтервали часу між утворенням галактик в різних областях, моменти їх утворення і концентрації залежать від природи ТМ. На основі вивчення цієї залежності розглянуто можливість тестування КМ за вказаними параметрами.

У четвертому розділі досліджено задачу про теоретичний розрахунок концентрації квазарів і їх просторової двоточкової кореляційної функції на різних червоних зміщеннях  $z$ , та їх співставлення із даними спостережень. В §4.1 із застосуванням пікового формалізму теорії випадкових гаусівських полів запропонований метод розрахунку залежності концентрації квазарів на різних  $z$  від параметрів фізичної моделі квазарів і початкового спектру флюктуацій  $P(k)$ . На основі цього методу з використанням даних спостережень по концентрації квазарів в широкому діапазоні червоних зміщень  $z = 0.7 \div 4.7$  тестуються задані початкові спектри флюктуацій  $P(k)$  в ХТМ - моделі з різними нахилами спектру:  $n=1, 0.8, 0.7, 0.6$ , та  $\Gamma$ +ХТМ-модель з  $n=1$ . Показано, що ХТМ-модель з нахилом спектру  $n=0.7$  дає краще узгодження теоретичного розподілу квазарів із даними спостережень, однак навіть у ній відповідне відхилення перевищує межі розкиду допустимих значень спостережуваної концентрації квазарів на  $z=4.7$ . Також поставлена обернена

задача: побудова феноменологічного спектру потужності  $P(k)$ , який є повністю узгоджений із розподілом концентрації квазарів по  $z$ , визначеним із спостережень. Побудовано декілька таких спектрів і показано, що ці спектри в порівнянні із стандартним ХТМ-спектром мають особливості в своїй короткохвильовій частині. Розглянуто можливі космологічні наслідки цих спектрів. Показано, зокрема, що з такими спектрами може бути пов'язане існування раних об'єктів на високих  $z$  (у випадку спектру з горбом на  $k \sim 1$ ), або особливості інфляційної моделі (спектр зі сходиною). У §4.2, як засіб тестування початкових спектрів у космологічних моделях з різним типом невидимої матерії, використовується просторова двохточкова кореляційна функція квазарів. Запропонований метод її розрахунку. Такий розрахунок проведено в рамках космологічних моделей з різним типом невидимої матерії. Показано, що кореляційна функція квазарів не знаходить задовільної інтерпретації в ХТМ і  $\Gamma$ +ХТМ моделях, якщо квазари з різними  $z$  є короткочасною активною фазою еволюції масивних галактик. Також вивчається еволюція просторової двохточкової кореляційної функції квазарів. Показано, що якщо на малих  $z$  її амплітуда зменшується з ростом  $z$  в деякому інтервалі  $z < z_*$ , то квазари повинні утворюватись в низьких піках флюктуацій густини  $\nu(z) \leq 1.15$ . При цьому амплітуда досягає мінімуму при  $z_* = 0.87 \cdot \sigma(R) - 1$ , де  $\sigma(R)$  - середньоквадратична амплітуда цих флюктуацій, і далі, при  $z > z_*$ , збільшується. Якщо квазари утворюються в піках флюктуацій галактичного масштабу  $- R = 0.35h^{-1}$  Мпк, то відповідні значення  $z_*$  для ХТМ-моделей з нахилами їх спектрів потужності

$n=1, 0.8, 0.7 \in 3.16, 1.06, 0.45$ , а для  $\Lambda$ CDM-моделі –  $z_*=0.21$ . Показано, що можливе монотонне зменшення амплітуди кореляційної функції квазарів із збільшенням  $z$  в інтервалі  $0 < z < 5$ , на яке вказують дані спостережень, може бути викликане відповідним зменшенням масштабу  $R$  флюктуацій, в яких утворюються квазари з різними  $z$ . Зокрема, в ХТМ - моделі з  $n=1$  закон зміни масштабу  $R \equiv R(z)$  може мати вигляд:  $R(z) = 3.3(1+z)^{-1} h^{-1}$  Мпк. У відповідності до цього закону квазари при великих червоних зміщеннях  $z \sim 4 \div 5$  утворюються переважно в областях флюктуацій галактичного масштабу  $R=0.35h^{-1}$  Мпк і є короточасною активною стадією еволюції масивних галактик з масою  $M \sim 10^{11} M_{\odot}$ . При малих червоних зміщеннях  $z \leq 1$  домінуючим є процес утворення квазарів внаслідок процесів злиття галактик в групах галактик з масштабом відповідних областей  $R \sim 1 \div 2h^{-1}$  Мпк.

У висновках коротко сумуються основні результати і висновки дисертації.

#### ***Основні результати та висновки:***

1. Отримано загальний розв'язок рівнянь еволюції лінійних флюктуацій густини галактичного масштабу на фоні додатніх великомасштабних флюктуацій з довільним розподілом густини речовини. Показано, що у випадках однорідного та певних типів неоднорідного розподілу густини фонові флюктуації еволюція флюктуацій галактичного масштабу може протікати значно швидше, ніж на критичному космологічному фоні. Це сприяє більш ранній фрагментації великомасштабних неоднорідностей на об'єкти галактичного масштабу і в проблемі утворення галактик є

особливо важливим для ГТМ-моделей, в яких поява галактик в областях таких неоднорідностей стає можлива при червоних зміщеннях  $z \sim 1$ ;

2. Досліджено ріст амплітуди флюктуацій густини галактичного масштабу - попередників масивних галактик - на фоні великомасштабних флюктуацій - попередників багатих скупчень і великих порожнин - у космологічних моделях із заданим спектром потужності. Показано, що різниця моментів утворення галактик на критичному космологічному фоні і в скупченнях  $\sim 3 \cdot 10^8$  років для ХТМ-моделей і  $(2 \div 5) \cdot 10^9$  років для ГТМ-моделей.

3. Розраховано теоретичну залежність концентрації яскравих квазарів з різними червоними зміщеннями  $z$  від початкового спектру флюктуацій  $P(k)$ . В припущенні, що квазари є короткочасною фазою еволюції масивних галактик з масою  $M \geq 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ , показано, що найближчим до спостережуваного є розподіл квазарів по  $z$ , отриманий в ХТМ-моделі з  $\Omega_b = 0.1$ ,  $\Omega_{ХТМ} = 0.9$  і нахиленим спектром ( $n=0.7$ ) при тривалості квазарної фази  $\sim 4 \cdot 10^5 / \alpha$  років ( $\alpha$  - доля галактик, що в своїй еволюції проходять квазарну фазу), початок якої настає не пізніше, як через  $10^8$  років з моменту виникнення перших протипотоків у невидимій матерії і ударної хвилі в газі;

4. З використанням спостережуваного розподілу квазарів по  $z$  відтворено початковий спектр потужності флюктуацій густини на малих масштабах. Показано, що такий спектр в порівнянні із спектром ХТМ-моделі з нахилом  $n=1$  може мати меншу

потужність в діапазоні  $1 \leq k \leq 10h$  Мпк<sub>1</sub> і аномальний викид на  $k > 10 h\text{Мпк}^{-1}$ , або сходинку в діапазоні  $(0.53 \leq k \leq 10h \text{Мпк}^{-1})$ ;

5. Запропоновано метод розрахунку просторової двохточкової кореляційної функції квазарів  $\xi_{kk}(r, z)$ . Показано, що спостережувана кореляційна функція квазарів не знаходить задовільної інтерпретації в космологічних ХТМ і  $\Gamma$ +ХТМ моделях, якщо квазари з різними червоними зміщеннями  $z$  утворюються в областях флюктуацій галактичного масштабу  $R = 0.35h^{-1}$  Мпк. Показано, що відповідним підбором фіксованого масштабу областей, в яких утворюються квазари, можна узгодити кореляційні функції квазарів на різних  $z$  із тими даними спостережень, в яких амплітуда кореляційної функції квазарів не зменшується із збільшенням  $z$ . Показано, що монотонне зменшення амплітуди кореляційної функції квазарів із збільшенням  $z$ , на яке вказують більшість відповідних даних спостережень, може бути викликане відповідним зменшенням масштабу  $R$  флюктуацій, в яких утворюються квазари з різними  $z$ . Запропоновано закон зміни масштабу  $R \equiv R(z)$  в ХТМ-моделі з  $n=1$ :  $R(z) = 3.3/(1+z)/h$  Мпк. У відповідності з ним при великих червоних зміщеннях  $z \sim 4 \div 5$  квазари утворюються переважно в областях флюктуацій галактичного масштабу і є короткочасною активною стадією еволюції масивних галактик з масою  $M \sim 10^{11} M_{\odot}$ . При малих червоних зміщеннях  $z \leq 1$  домінуючим є процес утворення квазарів внаслідок процесів злиття галактик в групах галактик з масштабом відповідних областей  $R \sim 1 \div 2h^{-1}$  Мпк.

### Публікації.

1. Новосядлый Б.С., Чорний Ю.Б. Развитие космологических возмущений на фоне крупномасштабных неоднородностей. // *Астрономический журнал.* - 1993. - Т. 70. - N 4. - С.563-569.

2. Новосядлый Б.С., Чорний Ю.Б. Еволюція збурень галактичного масштабу на фоні великомасштабних неоднорідностей. // *Кінематика і фізика небесних тіл.* - 1994. - Т. 10. - N 3. - С. 84-95.

3. Chornij Yu., Novosyadlyj B. Redshift distribution of QSO's as a probe of initial spectrum on small scales.// *Astronomical and Astrophysical Transactions.* - 1996. - V. 10. - P. 77-82.

4. Новосядлый Б.С., Чорний Ю.Б. Розподіл квазарів по  $z$  і початковий спектр флюктуацій на малих масштабах.// *Кінематика і фізика небесних тіл.* - 1996. - Т. 12. - N 2. - С. 30-42.

5. Novosyadlyj B., Chornij Yu. Quasar abundance at high redshifts as a probe of initial power spectrum on small scale// *Journal of Physical Studies.* - 1997. - Т.1 – N 2.- P. 287-296.

Чорний Ю. Б. Просторовий розподіл галактик і квазарів та спектр потужності космологічних флюктуацій густини речовини. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико - математичних наук по спеціальності 01.03.02 - астрофізика, радіоастрономія. Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, 1997.

Дисертацію присвячено теоретичному дослідженню характеристик просторового розподілу галактик і квазарів у космологічних моделях із заданим початковим спектром потужності флюктуацій густини речовини. Для цього з використанням аналітичних методів розраховано еволюцію флюктуацій густини галактичного масштабу і визначено

моменти утворення та концентрації масивних галактик в областях великомасштабних неоднорідностей типу багатих скупчень галактик і великих порожнин. Також знайдено залежності розподілу середньої концентрації квазарів по червоних зміщеннях та їх просторових двохточкових кореляційних функцій від початкового спектру потужності. Шляхом співставлення теоретичних розрахунків цих характеристик із даними спостережень проведено тестування початкових спектрів потужності у космологічних моделях із холодною темною матерією типу аксіонів, нейтрино, а також суміші цих частинок.

Ключові слова: космологія, великомасштабна структура Всесвіту, галактики, квазари.

Чорний Ю. Б. Пространственное распределение галактик и квазаров и спектр мощности космологических флуктуаций плотности вещества - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика, радиоастрономия. Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, 1997.

Диссертация посвящена теоретическому исследованию характеристик пространственного распределения галактик и квазаров в космологических моделях с заданным первичным спектром мощности флуктуаций плотности вещества. Для этого с использованием аналитических методов рассчитана эволюция флуктуаций плотности галактического масштаба и определены моменты образования и концентрации массивных галактик в областях крупномасштабных неоднородностей типа богатых скоплений галактик и больших пустот. Также найдено зависимости распределения средней концентрации квазаров по красным смещениям и их пространственных двухточечных

корреляционных функций от первичного спектра мощности. Посредством сопоставления теоретических расчетов этих характеристик с данными наблюдений проведено тестирование первичных спектров мощности в космологических моделях с холодной темной материей типа аксионов, нейтрино, а также смеси этих частиц.

Ключевые слова: космология, крупномасштабная структура Вселенной, галактики, квазары.

Chornij Yu. B. Spatial distribution of galaxies and quasars and the power spectrum of cosmological fluctuations of matter density. - Manuscript.

Thesis for candidate's degree by speciality 01.03.02 - astrophysics, radioastronomy. Main astronomical observatory of National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, 1997.

The dissertation is devoted to investigation of theoretical characteristics of the spatial distribution of galaxies and quasars in cosmological models with given primordial power spectrum of matter density fluctuations. For this the evolution of density fluctuations at galactic scale and the moments of formation and concentration of inhomogeneties like rich clusters and large voids are calculated using analytic methods. Also the dependencies of the distribution of mean quasars concentration on redshift are founded, as well as dependence of quasar two-point correlation function on primordial power spectrum. By means of confrontation of theoretical estimation of these characteristics with observational data the testing of primordial power spectra is carried out for cosmological models with cold dark matter like axions, neutrinos and the mixture of these particles.

Key words: cosmology, large-scale structure of Universe, galaxies, quasars.

АВ 39.638

Підписано до друку 15.02. 1998р. Формат 60 x 80 x 16.

Папір офс. Офс. друк. Обсяг 1,0 фіз. д. л.

Зам № 140 Тираж 100 прим. Безкоштовно.

---

ТЗОВ “Брати Сиротинські і К”

м. Львів, вул. Коперника, 17.