

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ГОЛОВНА АСТРОНОМІЧНА ОБСЕРВАТОРІЯ

МІРОШНИЧЕНКО АЛЛА ПАВЛІВНА



УДК. 524.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІЙ СВІТНОСТІ ТА ЕФЕКТІВ ЕВОЛЮЦІЇ
ГАЛАКТИК І КВАЗАРІВ В ОПТИЧНОМУ ТА РАДІОДІАПАЗОНАХ

01.03.02 - Астрофізика та радіоастрономія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1997

AB 39.347

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00742748 (W)

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана в Радіоастрономічному інституті
Національної Академії Наук України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук,
член-кореспондент НАН України
Коноваленко Олександр Олександрович,
Радіоастрономічний інститут НАН України,
завідуючий відділом.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
Гершберг Роальд Євгенович,
Кримська астрофізична обсерваторія,
головний науковий співробітник;

кандидат фізико-математичних наук,
Вавілова Ірина Борисівна,
Астрономічна обсерваторія Київського
держуніверситету ім. Т. Г. Шевченка,
науковий співробітник.

Провідна установа: Астрокосмічний центр Фізичного інституту
Російської Академії наук, м. Пушино.

Захист відбудеться "10" квітня 1998 р. о 11 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 Національної Академії Наук України.
252650, Київ-22, Голосіїв, Головна астрономічна обсерваторія НАН України.

Автореферат розісланий "9" лютого 1998 р.

Вчений секретар Спеціалізованої вченої ради
кандидат фізико-математичних наук

Гусєва Н. Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність теми. Дослідження еволюції космічних об'єктів є однією з ключових проблем астрофізики. Ця проблема вивчається різними методами: статистичним аналізом спостережуваних даних, розробкою теорій космологічної еволюції, які ґрунтуються на астрофізичних результатах. Відомим є також метод підрахунків джерел, але з появою численних оптичних отождоженнь широко застосовується побудова функцій світності об'єктів.

Функція світності (ФС) космічних об'єктів являє собою їх розподіл по світностям на певній частоті спостереження статистично повної вибірки. Дослідження ФС застосовується як для встановлення закономірностей у властивостях космічних джерел, так і для вивчення ефектів еволюції. Знання ФС накладає певні обмеження, необхідні при розробці теорій еволюції скупчень галактик, галактик поля та квазарів.

В попередніх дослідженнях ФС космічних об'єктів не використовувались дані декаметрової радіоастрономії. Разом з тим, згідно з визнанням уявленням в межах синхротронної гіпотези випромінювання, час життя космічних джерел на низьких частотах близький до віку Всесвіту. Саме з цієї причини розгляд ФС та ефектів космологічної еволюції в декаметровому діапазоні уявляється цікавим і важливим.

На теперішній час визначені ФС багатьох вибірок галактик і квазарів в оптичному діапазоні та на високих радіочастотах, ФС десятків скупчень галактик в оптичному діапазоні, ФС ансамбля скупчень галактик на високих радіочастотах.

Відносно низька роздільна здатність багатьох радіотелескопів поки що не дозволяє одержувати численні дані щодо індивідуального випромінювання галактик, які утворюють скупчення. Тому відомі роботи по ФС скупчень в радіодіапазоні ґрунтуються на побудові ФС по ансамблю, тобто загальної ФС скупчень для деякої вибірки скупчень, де використовується лише інтегральне випромінювання від кожного скупчення на фіксованій радіочастоті.

Тільки завдяки телескопам апертурного синтезу (наприклад, Вестерборкський телескоп (WSRT) в Голландії) були проведені вимірювання індивідуальних густин потоків радіовипромінювання галактик, які належать до відносно близьких скупчень. Ці дані дають можливість одержати ФС в радіодіапазоні для окремих скупчень галактик.

Враховуючи різноманітність морфологічного складу галактик і наявність міжгалактичного середовища в скупченнях, визначення індивідуальних ФС скупчень в радіодіапазоні є актуальним. Виходячи з цього, важливо співставити ФС галактик із скупчень і ФС галактик доля ін. Н. Співставити

Дослідження еволюції космічних об'єктів, тобто залежності світності,

просторової густини від червоного зміщення, від спектрального індекса проведене багатьма авторами, в основному, для квазарів в оптичному діапазоні та на високих радіочастотах. Як відомо, квазари - найвіддаленіші об'єкти у Всесвіті і займають великий інтервал червоних зміщень ($z = 0,1 + 4,5$), що обумовлює помітну величину ефектів еволюції. З іншого боку, характерний інтервал червоних зміщень галактик складає $z = 10^{-3} + 1,0$, що також дозволяє визначити їх еволюційні залежності, причому, не тільки для галактик поля, але і для галактик із скупчень.

Каталог позагалактичних радіоджерел, одержаний на радіотелескопі УТР-2, відкрив можливість дослідження космологічної еволюції галактик і квазарів в декаметровому діапазоні - найбільш низькочастотному при наземних спостереженнях космічних об'єктів. Декаметровий діапазон є перспективним для вивчення найпізніших стадій еволюції космічних джерел з характерними часами, що близькі до віку Всесвіту ($\sim 10^{10}$ років).

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконана у відділі декаметрової радіоастрономії РІ НАН України, її результати є складовою частиною держбюджетних НДР "Метагалактика" і "Космос".

Мета роботи. Метою дисертаційної роботи є дослідження ефектів еволюції галактик і квазарів в декаметровому та оптичному діапазонах, галактик із скупчень на високих радіочастотах і в оптичному діапазоні на основі одержаних функцій світності цих об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше одержана функція світності галактик в декаметровому діапазоні та встановлена її залежність від червоного зміщення.

Вперше визначені ефекти еволюції світності та просторового розподілу радіогалактик за функціями світності в декаметровому діапазоні для червоних зміщень $z = 0,002 + 0,88$.

Вперше обчислена функція світності квазарів в декаметровому діапазоні та знайдено закон еволюції просторового розподілу квазарів в інтервалі червоних зміщень $z = 0,1 + 3,0$.

Вперше знайдено емпіричний закон еволюції світності квазарів в інтервалі червоних зміщень $z = 0,1 + 3,0$.

Вперше по емпіричним даним проведена оцінка характерного часу еволюції функції світності квазарів в декаметровому та в оптичному діапазонах.

Вперше одержана емпірична залежність положення точки зламу радіо- та оптичної функцій світності скупчень галактик від червоного зміщення.

Вперше досліджено співвідношення між ступенем компактності скуп-

чень і параметрами функції світності, знайдено, що функції світності з більш крутим нахилом спостерігаються для компактних скупчень.

Запропонована методика оцінки ефектів спостережуваної селекції при обчисленні функцій світності скупчень галактик.

Розроблена методика оцінки впливу спостережуваної селекції при обчисленні функцій світності квазарів.

Наукова та практична цінність роботи. Знайдені параметри функцій світності та кількісне визначення ефектів еволюції галактик із скупчень, галактик поля та квазарів можуть бути використані для подальшого розвитку теорій еволюції галактик і квазарів, для оцінки впливу оточуючого середовища на розподіл світностей галактик.

Основні положення, представлені до захисту.

1. Функції світності вибірок галактик і квазарів із каталогу УТР-2, вперше одержані та досліджені в декаметровому діапазоні довжин хвиль.

2. Ефекти космологічної еволюції світності та просторового розподілу радіогалактик і квазарів в декаметровому та оптичному діапазонах, величини характерних часів еволюції функції світності квазарів в декаметровому та оптичному діапазонах.

3. Радіо- та оптичні функції світності окремих скупчень галактик, а також залежність положення зламів функцій світності від червоного зміщення скупчень, що вказує на динамічні процеси у скупченнях і вплив оточуючого середовища на функцію світності галактик.

4. Аналіз ефектів селекції при обчисленні функцій світності скупчень галактик і функцій світності квазарів, що забезпечує достовірність визначення космологічної еволюції об'єктів.

Особистий внесок здобувача. Мірошніченко А. П. є ініціатором та головним виконавцем всього циклу досліджень, які увійшли до дисертації, а також приймала безпосередню участь в спостереженнях на радіотелескопі УТР-2 та створенні каталогу дискретних джерел в декаметровому діапазоні.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на XIX конференції по галактичній та позагалактичній радіоастрономії (Таллін, 1987 р.); на XXIII конференції по галактичній та позагалактичній радіоастрономії (Ашхабад, 1991 р.); на XXV радіоастрономічній конференції (Пушино, 1993 р.); на III з'їзді Української астрономічної асоціації (Київ, 1995 р.); на XXVI радіоастрономічній конференції (Санкт.-Петербург, 1995 р.), а також на наукових семінарах в Радіоастрономічному інституті НАН України.

Публікації. Основні результати роботи викладені в 12 публікаціях, які включають статті в журналах і тези доповідей, що мають пріоритетне значення.

Структура та об'єм дисертації. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку цитованої літератури. Загальний об'єм дисертації становить 130 сторінок, в тому числі 18 малюнків, 9 таблиць та 114 назв бібліографічних джерел на 10 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі відображено актуальність теми дисертації, мету дослідження, наукову новизну роботи, її практичну цінність, апробацію, сформульовані основні положення, які виносяться на захист, наведена структура роботи.

У першому розділі (огляді) аналізується дослідження функцій світності скупчень галактик, галактик поля, квазарів, проведене різними авторами до теперішнього часу. Відмічається, що вже в перших роботах з даної тематики в оптичному діапазоні та на високих радіочастотах [1-3] було встановлено степеневий вид функцій світності (ФС) галактик та квазарів і характерну деталь ФС - злам при певному значенні світності. У 80-х роках [4,5] виявлено тенденцію зміщення точки зламу в бік вищих світностей для вибірок з більшим червоним зміщенням. І в оптичному діапазоні, і на високих радіочастотах відмічені ефекти еволюції просторового розподілу квазарів [3,6,7].

Подальший поступ у визначенні ефектів еволюції може дати вивчення функцій світності галактик і квазарів на низьких радіочастотах, зокрема, в декаметровому діапазоні, що обумовлюється великим характерним часом еволюції низькочастотних радіоджерел.

У другому розділі розглянуті функції світності окремих скупчень галактик в оптичному та радіодіапазонах. До теперішнього часу залишається актуальною проблема залежності функцій світності галактик від оточення, тобто проблема співвідношення ФС галактик поля і ФС галактик, що входять у скупчення. З цією проблемою пов'язане також питання про універсальність ФС галактик.

Для вивчення впливу міжгалактичного середовища, тобто впливу оточення на ФС галактик, і для оцінок ефектів еволюції галактик в роботі одержано функції світності в радіодіапазоні (ФСР) та функції світності в оптичному діапазоні (ФСО) окремих скупчень галактик. Були використані дані спостережень галактик із скупчень Діва, Кома, Геркулес, Рак, А1367 на Вестерборкському телескопі апертурного синтезу на частотах 610 МГц та 1400 МГц.

ФСР та ФСО скупчень галактик виявляють злам при певних значеннях оптичної та радіосвітності. Нахили (індекси) "яскравої" ділянки ФС, що відповідає більшим світностям, як правило, більші в радіодіапазоні, ніж в оптичному діапазоні. Таким чином, у скупченнях потужні галактики швидше проходять еволюцію в радіодіапазоні. Нахили "слабкої" ділянки ФСР та ФСО практично однакові і є відносно плоскими в оптичному та радіодіапазонах.

Виявлено збільшення нахилу ФСР для галактик із слабкими оптичними світностями, що вказує на той факт, що дуже рідко галактики з слабкою оптичною світністю є потужними радіоджерелами. З врахуванням літературних даних ми отримали параметри 40 ФСО скупчень галактик. Встановлено, що середні індекси ФСО скупчень близькі до відповідних індексів Ейбелла: $a_1 = 0,25$; $a_2 = 0,8$ (a_1 - індекс ФС до точки зламу, a_2 - індекс ФС після точки зламу). Застосування статистичних критеріїв до індексів ФС показало, що можна допустити гіпотезу про універсальність ФС скупчень галактик.

Проведено дослідження еволюції ФС скупчень галактик, зокрема, розглянуто залежність положень зламів ФСО та ФСР від червоного зміщення. Одержані емпіричні вирази для цієї залежності у вигляді:

$$\lg L_{610}^* = (30 \pm 7,10)z + 20,35 ;$$

$$|M_V^*| = (6,34 \pm 1,68)z + 19,06 ;$$

де L_{610}^* - радіосвітність на 610 МГц, що відповідає положенню зламу ФСР,

M_V^* - оптична світність, що відповідає положенню зламу ФСО,

z - червоне зміщення скупчення.

Залежності $\lg L_{610}^*(z)$ та $|M_V^*|(z)$ підтверджують наш попередній висновок про те, що галактики у скупченнях швидше еволюціонують в радіодіапазоні, ніж в оптичному діапазоні.

Встановлена залежність параметрів ФС від важливої морфологічної характеристики - компактності скупчень галактик. По 40 скупченням одержано, що ФСО з більш крутим нахилом спостерігаються частіше для компактних скупчень. Також, з високим коефіцієнтом кореляції ($r = 0,97$) підтверджена по компактним скупченням отримана вище залежність $|M_V^*|(z)$.

Розглянута взаємозалежність радіо- та оптичних світностей галактик із скупчень Діва, Кома, Геркулес, Рак, А1367, можливо, відображає різні стадії динамічної еволюції в скупченнях галактик. Ці залежності можуть бути свідченням впливу динамічної еволюції скупчень на еволюцію світності галактик у скупченнях.

Запропонована методика оцінки спостережуваної селекції при визначенні еволюційних залежностей для ФС скупчень галактик. По цій методиці одержано, що для даних скупчень галактик ефекти селекції незначні, і їх можна не враховувати при обчисленні ФС.

Проведені дослідження параметрів ФСР та ФСО окремих скупчень галактик показали, що на світність галактик в скупченнях може впливати оточення, тобто середовище скупчення.

В третьому розділі розглянуті функції світності галактик поля в декаметровому та оптичному діапазонах. Для подальшого аналізу залежності ФС галактик від оточення необхідно співставити ФС галактик поля та ФС галактик із скупчень. Крім того, є важливими кількісні оцінки ефектів еволюції галактик, які можна отримати на основі ФС вибірки галактик із каталогу УТР-2.

Огляд дискретних джерел, проведений на декаметровому телескопі УТР-2, забезпечує побудову статистично повної вибірки радіогалактик, що мають надійні ототожнення. З цією метою джерела з каталогу УТР-2 були ототоженні з джерелами з високочастотних каталогів, в свою чергу, ототожненими в оптичному діапазоні. Вибірка галактик із каталогу УТР-2 складена в зоні схилень $\delta = -13^\circ + 20^\circ$. Об'єм нашої вибірки (114 галактик) обумовлений відбором галактик із каталогу УТР-2 за достатньо жорсткими критеріями: $m_v \leq 18,5^m$; $S_{25} \geq 20$ Ян (m_v - видима зоряна величина, S_{25} - густина потоку випромінювання на 25 МГц).

Розрахунок ФС даної вибірки радіогалактик проводимо по класичному методу "максимальних" об'ємів [2] як по всій вибірці, так і для різних морфологічних типів - E, S, N - галактик на частоті 25 МГц (ФСР) і в оптичному діапазоні (ФСО):

$$\rho(L) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{V_{m_i}(L)},$$

де n - число галактик із світністю L в інтервалі ΔL ,

V_m - такий максимальний об'єм, в якому повинна знаходитись галактика із світністю L , щоб спостерігатись з густиною потоку випромінювання S_{lim} , яка є гранично малою для даної вибірки. Значення ФС галактик в кожній її точці чисельно дорівнює просторовій густині галактик із світностями в деякому заданому інтервалі. Значення L і $\rho(L)$ нормовані на 1 стерadian.

ФСР і ФСО даної вибірки ми визначили в межах трьох моделей світу: фридманівських - з параметром $q_0 = 0,25$, $q_0 = 0,5$ (модель Ейнштейна-де Сіттера) і в релятивістській моделі Барішева [8]. Одержані інтегральні (кумулятивні) ФСР і ФСО вибірки галактик наближались відрізками прямих

(в координатах $lg \rho - lg L_\nu$) на ділянках ФСР та ФСО до та після точки зламу:

$$lg \rho = -a_\nu lg L_\nu + b_\nu,$$

де ρ - просторова густина галактик (Мпк⁻³),

L_ν - світність галактик на частоті ν в інтервалі $\Delta lg L_\nu = 0,4$,

a_ν, b_ν - параметри ФСР та ФСО (параметр a_ν - індекс ФСР та ФСО).

ФС галактик розглянутої вибірки виявляють злам в декаметровому та оптичному діапазонах при певних значеннях світності. Положення точки зламу ФСР та ФСО підвибірок далеких ($z > 0,1$) та близьких ($z \leq 0,1$) об'єктів має залежність від червоного зміщення.

В цілому по вибірці індекс ФСР в декаметровому діапазоні має значення $a_1 \leq 1$ на ділянці ФСР до зламу (на слабких світностях) і $a_2 > 1$ після зламу (на великих світностях). Для ФСО даної вибірки одержано особливо плоский індекс до зламу ($a_1 \leq 0,03$), при цьому величина індексу ФСО після зламу ($a_2 > 3,0$) помітно перевищує відповідне значення індексу в декаметровому діапазоні ($a_2 > 1$). Підвибірка Е-галактик має таку ж форму ФС, як ФС галактик по всій вибірці. Відмінну форму ФСР і ФСО має підвибірка S-галактик в декаметровому і в оптичному діапазонах: нахил крутий на слабких світностях ($a_1 = 1,3$) і більш плоский ($a_2 = 0,2$) на "яскравій" ділянці ФС. Подібні особливості виявляють ФСР та ФСО підвибірки N-галактик.

Із співставлення наших результатів по визначенню параметрів ФСР і ФСО галактик поля та галактик скупчень випливає, що значні відмінності мають ФСО цих популяцій на "яскравій" ділянці, а ФСР - на "слабкій" ділянці. Індекс ФСО галактик в скупченнях на "слабкій" ділянці складає $a_1 \approx 0,2$, тобто достатньо плоский, а ще більше плоский індекс a_1 для ФСО галактик поля ($a_1 \approx 0,03$). В той же час, на "яскравій" ділянці ФСО галактик скупчень характеризується, в середньому, індексом $a_2 = 0,8$, а ФСО галактик поля має великий індекс $a_2 \geq 3$.

ФСР галактик скупчень на "слабкій" ділянці має плоский індекс ($a_1 = 0,2$), тоді як ФСР галактик поля відрізняється більшим індексом ($a_1 = 0,9$). На "яскравій" ділянці у ФСР галактик скупчень $a_2 = 1$, а у ФСР галактик поля $a_2 = 1,1$, тобто мало відрізняються між собою.

Використовуючи підвибірки галактик з $z \leq 0,1$ та $z > 0,1$, одержана залежність світності в точці зламу ФС від червоного зміщення:

$$lg L_{25}^* \sim 10 lg z,$$

$$|M_\nu^*| \sim 21 lg z.$$

Із порівняння з аналогічними залежностями для галактик із скупчень можна зробити висновок, що еволюція радіосвітності галактик поля відбу-

вається з меншим темпом, ніж еволюція радіосвітності галактик в скупченнях. В оптичному діапазоні еволюція світності галактик поля має більший темп, ніж у галактик із скупчень. Зазначимо, що на такі відмінності темпу еволюції галактик поля і галактик із скупчень вказують відповідні індекси ФСО і ФСР, причому, як згадувалось вище, важливу роль в еволюції світності може мати оточення галактик.

Для трьох моделей світу ($q_0 = 0,25$, $q_0 = 0,5$, релятивістська модель Баришева) одержані значення просторової густини радіогалактик: $\rho_{(q_0=0,25)} = 8,57 \cdot 10^{-4} \text{ Мпк}^{-3}$, $\rho_{(q_0=0,5)} = 8,59 \cdot 10^{-4} \text{ Мпк}^{-3}$, $\rho_R = 2,74 \cdot 10^{-4} \text{ Мпк}^{-3}$. Також одержано оцінки просторової густини окремих морфологічних типів радіогалактик, наприклад, в межах моделі світу з параметром $q_0 = 0,25$:

для E-типу $\rho_{(q_0=0,25)} = 8,55 \cdot 10^{-5} \text{ Мпк}^{-3}$;

для S-типу $\rho_{(q_0=0,25)} = 6,75 \cdot 10^{-4} \text{ Мпк}^{-3}$;

для N-типу $\rho_{(q_0=0,25)} = 1,02 \cdot 10^{-7} \text{ Мпк}^{-3}$.

Згідно $\langle V/V_m \rangle$ -тесту (міри неоднородності просторового розподілу об'єктів) одержано, що радіогалактики нашої вибірки неоднорідно розподілені в просторі ($\langle V/V_m \rangle = 0,4$). Однак, розподіл в просторі стає однорідним ($\langle V/V_m \rangle = 0,5$) для підвибірки далеких галактик (з червоним зміщенням $z > 0,1$). Такий факт, очевидно, підтверджує об'єктивність $\langle V/V_m \rangle$ -тесту, оскільки, як відомо, близькі галактики входять в Місцеве Надскупчення галактик, що обумовлює просторову неоднорідність.

Спостерігається позитивна кореляція величини $\langle V/V_m \rangle$ в даній вибірці і величини спектрального індексу, світності на 25 МГц. Зокрема, з аналізу підвибірок галактик більшої та меншої потужності випромінювання в декаметровому діапазоні впливає, що більш однорідний просторовий розподіл існує для галактик типу FR II, тобто потужних радіогалактик ($\lg L_{25} > 25,5$). В той же час по нашій вибірці встановлено, що радіогалактики із слабкою оптичною світністю розподілені більш однорідно у просторі, ніж оптично яскраві радіогалактики. Така відмінність залежності $\langle V/V_m \rangle$ від оптичної світності і залежності $\langle V/V_m \rangle$ від радіосвітності може бути обумовлена рекурентністю активності ядер галактик.

З аналізу підвибірок галактик з $z \leq 0,1$ та $z > 0,1$ одержана оцінка періоду активності галактик, яка становить в оптичному діапазоні $M = (6 + 9) \cdot 10^8$ років, а в декаметровому діапазоні $M = (3 + 13) \cdot 10^8$ років.

Закон еволюції просторового розподілу радіогалактик, одержаний по нашій вибірці, вказує на більший темп еволюції просторової густини радіогалактик у порівнянні з квазарами.

В четвертому розділі розглянуті функції світності квазарів в декаметровому та в оптичному діапазонах. Оскільки ефекти еволюції легше виявити на великих інтервалах космологічного часу, є важливим мати вибірки об'єктів з великими червоними зміщеннями. З об'єктивних причин спостереження галактик не можуть поки що забезпечити достатні вибірки для $z > 1$. В цьому відношенні квазари є унікальними об'єктами - найпотужніші і найвіддаленіші джерела випромінювання у Всесвіті.

Важливо досліджувати квазари на низьких частотах, оскільки час життя радіоджерел в декаметровому діапазоні становить $10^9 - 10^{10}$ років. З декаметрового каталогу УТР-2 в зоні схилень $\delta = -13^\circ + 20^\circ$ ми відібрали надійно ототоженні квазари за критеріями: $m_V \leq 18,5^m$, $S_{25} \geq 20$ Ян, де m_V - видима зоряна величина, S_{25} - густина потоку випромінювання на 25 МГц. Статистично повна вибірка, необхідна для побудови ФС, включала 69 квазарів.

Функції світності обчислювались (як і в третьому розділі) по методу "максимальних" об'ємів, при використанні трьох моделей світу: фридманівської ($q_0 = 0,25$), Ейнштейна-де Сіттера ($q_0 = 0,5$) і релятивістської моделі Баришева. Одержані ФС вибірки квазарів на частотах 25 МГц, 178 МГц, 2700 МГц і в оптичному діапазоні.

По формі ФС квазарів нагадують ФС галактик, тобто теж мають злам при певному значенні світності для кожної частоти спостереження. ФС квазарів виявляють цікаву особливість - значення індексу ФС до зламу практично не залежить від спостережуваної частоти випромінювання ($a_1 = 0,3 - 0,4$).

В даній вибірці квазари мають червоні зміщення в інтервалі $z = 0,1 + 3,0$, з середнім значенням $\langle z \rangle = 1,1$. Ми розглянули ФС відносно близьких квазарів ($z \leq 1$) і далеких квазарів ($z > 1$), які мають такий же хід, як і ФС квазарів по всій вибірці. Спостерігається еволюційне зміщення точки зламу ФСР і ФСО, яке означає, що в більш ранню епоху існувало більше потужних квазарів, що аналогічно зробленому вище висновку для галактик.

Враховуючи, що квазари даної вибірки займають досить великий інтервал по z , були проведені оцінки ефекту спостережуваної селекції. Було проаналізовано зміну дисперсії величин "максимальних" об'ємів V_m в різних інтервалах z , яка може обумовлюватись впливом селекції. Виявлено, що величини відповідних поправок V_m за селекцію незначні - їх можна не враховувати в інтервалі $z = 0,1 + 3,0$.

По ФС знайдена просторова густина квазарів для трьох моделей світу:

$$\rho_F = 3,20 \cdot 10^{-8} \text{ Мпк}^{-3}, \quad (\text{модель світу Фрийдмана, } q_0 = 0,25);$$

$$\rho_{E-S} = 3,69 \cdot 10^{-8} \text{ Мпк}^{-3}, \quad (\text{модель Ейнштейна-де Сіттера, } q_0 = 0,5);$$

$$\rho_R = 5,53 \cdot 10^{-9} \text{ Мпк}^{-3}, \quad (\text{релятивістська модель Баришева}).$$

Також було проведено $\langle V/V_m \rangle$ -тест для дослідження просторового розподілу, виявилось, що квазари неоднорідно розподілені у просторі: $\langle V/V_m \rangle = 0,60$. Крім того, величина $\langle V/V_m \rangle$ позитивно корелює з червоним зміщенням, спектральним індексом, світністю квазарів. Закон еволюції просторового розподілу для даної вибірки квазарів має вигляд:

$$\langle V/V_m \rangle = (0,101 \pm 0,009)z + 0,521,$$

що вказує на практично однорідний просторовий розподіл квазарів при малих z .

Використовуючи підвибірки квазарів з $z \leq 1$ та $z > 1$, одержано, що залежність світності від червоного зміщення має степеневий вигляд в розглянутих моделях світу:

$$L_v(z) \sim (1+z)^n,$$

причому, для класу Фридманівських моделей світу $n \approx 4$, для моделі світу Баришева $n \approx 7$.

Маючи залежність світності від червоного зміщення, розглянуто еволюцію ФС за рахунок висвічування квазарів:

$$\rho(L(z)) = 10^b L^{-a} (1+z)^{n(a-1)} = \rho_0(L) (1+z)^{n(a-1)} = \rho_0 f_V(z),$$

де $\rho_0(L)$ - значення ФС в інтервалі світності L в сучасну епоху, a - індекс ФС після точки зламу (ділянка високих світностей).

Також була врахована еволюція ФС внаслідок зміни просторової густини об'єктів при розширенні Всесвіту:

$$\rho_L(z) = \rho_0 \frac{q_0^2 z^2 (1+z)^3 \sqrt{1+2q_0 z}}{\{q_0 z + (q_0 - 1) [\sqrt{1+2q_0 z} - 1]\}^2} = \rho_0 f_L(z).$$

З урахуванням цих ефектів можна представити еволюцію ФС у вигляді:

$$\rho_T = \rho_0 f_V(z) f_L(z).$$

Проведена оцінка характерного часу еволюції ФС квазарів τ за допомогою одержаного вище закону еволюції світності: $\tau = L / |\dot{L}|$. Значення τ визначались для епох z , що відповідають положенню точок зламу ФСР та ФСО квазарів. Вони становлять $\tau \sim 10^9$ років і менші відповідних космологічних часів t .

Проведена оцінка передбачуваної рекурентності активності квазарів, використовуючи характерні часи еволюції ФС далеких і близьких квазарів, що мають однакові світності. З одержаних даних можна зробити висновок, що період активності квазарів в оптичному та радіодіапазонах становить $(3+7) \cdot 10^8$ років, що є близьким до значення періоду активності галактик, визначеного в третьому розділі.

У висновках відображено основні результати дисертаційної роботи, які зводяться до наступного.

1. Одержано ФСР для галактик, що входять в скупчення Діва, Кома, Геркулес, Рак, А1367, використовуючи вимірювання Вестерборкської групи на 610 МГц та 1400 МГц. Також побудовано ФСО цих скупчень. Порівняння відповідних параметрів ФСР і ФСО показало, що в скупченнях галактики швидше еволюціонують в радіодіапазоні, ніж в оптичному діапазоні.

2. Встановлено, що індекси ФСО скупчень близькі до відповідних індексів ФСО Ейбелла. Розгляд індексів 40 ФСО показав, що їх розподіл не суперечить гіпотезі про універсальність ФС скупчень галактик.

3. Досліджена еволюція ФС скупчень галактик в оптичному та радіодіапазонах. Знайдена залежність положень зламів ФСО та ФСР від червоного зміщення, а також залежність індексу ФС від важливої морфологічної характеристики - компактності скупчень.

4. Вперше одержана ФСР галактик в декаметровому діапазоні по статистично повній вибірці радіогалактик із каталогу УТР-2. Також по цій вибірці обчислена ФСО галактик. Проведено аналіз параметрів ФСР і ФСО як в цілому по вибірці, так і по виділенім морфологічним типам галактик

5. Розглянуті властивості ФС підвбірок близьких (з червоним зміщенням $z \leq 0,1$) і далеких ($z > 0,1$) галактик в декаметровому та в оптичному діапазонах. В декаметровому діапазоні ФС підвбірки далеких галактик має якісно інший хід, ніж ФС всієї вибірки - спостерігається великий індекс ФС до точки зламу та плоский індекс ФС після точки зламу. Положення зламу ФС далеких галактик відповідає більшій світності, ніж для ФС близьких галактик.

6. Знайдена емпірична залежність світності радіогалактик від червоного зміщення (в інтервалі $z = 0,002 + 0,881$) в межах трьох моделей світу.

7. Досліджено просторовий розподіл галактик по $\langle V/V_m \rangle$ -тесту, який вказав на неоднорідність цього розподілу. Однак, розподіл у просторі близький до однорідного для далеких галактик ($z > 0,1$). Одержано закон еволюції просторового розподілу галактик в інтервалі $z = 0,002 + 0,881$ для трьох моделей світу, а також встановлено ефекти еволюції просторового розподілу в залежності від спектрального радіоіндексу, світності в декаметровому та в оптичному діапазонах.

8. Вперше одержана ФСР квазарів в декаметровому діапазоні по статистично повній вибірці квазарів із каталогу УТР-2. Для порівняння по цій же вибірці визначена ФСО квазарів, а також ФСР квазарів на частотах 178 МГц та 2700 МГц. Встановлено, що, незалежно від частоти, індекси ФС до точки зламу відносно плоскі ($a_1 = 0,4$). В той же час індекси ФС після зламу (на великих світностях) збільшуються по мірі збільшення частоти: $a_2 = 1$ в декаметровому діапазоні, $a_2 = 1,6$ в оптичному діапазоні, що може

свідчити про підвищення темпу еволюції квазарів із зростанням частоти випромінювання.

9. Проведено аналіз просторового розподілу квазарів з допомогою $\langle V/V_m \rangle$ -тесту. Для трьох моделей світу знайдено закон еволюції просторового розподілу квазарів, який вказує, що однорідність розподілу у просторі спостерігається лише для дуже близьких квазарів.

10. Знайдено закон еволюції світності квазарів даної вибірки в інтервалі червоних зміщень $z = 0,1 + 3,0$ для трьох моделей світу. З допомогою цієї залежності розглянута еволюція ФС за рахунок висвічування джерел, а також зроблена оцінка характерного часу еволюції ФС. З врахуванням змін ФС внаслідок розширення Всесвіту та висвічування джерел одержані співвідношення, що вказують на зростання просторової густини квазарів в інтервалі червоних зміщень $z = 0,1 + 3,0$.

11. Одержані оцінки характерних часів еволюції ФС квазарів в декаметровому та в оптичному діапазонах, які дають значення часів еволюції $\tau = (5 + 10) \cdot 10^8$ років, тобто менше відповідних космологічних часів ($t \sim 10^{10}$ років), що не виключає можливу рекурентність активності квазарів. Оцінка періоду передбачуваної активності квазарів і галактик становить $(3 + 7) \cdot 10^8$ років.

Перелік цитованих джерел.

1. Abell G. Problems of extragalactic research. // IAU Symp. N 15. -1962. - P.213-238.
2. Schmidt M. Space distribution and luminosity functions of quasistellar radio sources. // Astrophys. J. -1968. -V.151, N 2. -P.393-409.
3. Christensen C. Luminosity function of nearby galaxies. // Astron. J. -1975. - V.80, N 4. -P.282-289.
4. Koo D., Kron R. Spectroscopic survey of QSOs to $B = 22,5$: the luminosity function. // Astrophys. J. -1988. -V.325, N 1. -P.92-102.
5. Jaffe W. The evolution of radio galaxies: A VLA survey of high redshift clusters of galaxies. // Astrophys. J. -1982. -V.262, N 1. -P.15-23.
6. Petrosian V. The luminosity function of quasars and its evolution: a comparison of optically selected quasars and quasars found in radio catalogs. // Astrophys. J. -1973. -V.183, N 2. -P.359-381.
7. Wills D., Lynds R. Studies of new complete samples of quasistellar radio sources from 4C and Parkes catalogs. // Astrophys. J. Suppl. Ser. -1978. - V.36, N 3. -P.317-358.
8. Барышев Ю.В., Ощепков С.А., Райков А.А. Классические космологические тесты в полевой теории гравитации. // Труды XII конф. "Проблемы физики высоких энергий и теории поля" -М.: Наука. -1991. -С.300.

Публікації за темою дисертації.

1. Мирошніченко А. П. Свойства функций светимости скоплений галактик. // Кинематика и физика небесных тел. - 1989. -Т.5, № 5. -С.81-86.

2. Мирошніченко А. П. Функции светимости квазаров в декаметровом диапазоне и на высоких частотах. // Кинематика и физика небесных тел. - 1990. -Т.6, № 5. - С.30-35.

3. Мирошніченко А. П. Сравнение характеристик функций светимости квазаров в двух моделях Вселенной // Космическая наука и техника. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. - 1992.-в.7. -С.3-6.

4. Мирошніченко А. П. Эффекты космологической эволюции квазаров в оптическом и декаметровом диапазонах. // Кинематика и физика небесных тел. -1994. -Т.10, № 5. -С.52-61.

5. Мирошніченко А. П. Особенности функций светимости радиогалактик в декаметровом и оптическом диапазонах. // Кинематика и физика небесных тел. -1996. -Т.12, № 6. -С.27-34.

6. Мирошніченко А. П. Функции светимости различных классов космических объектов. -Харьков: 1989. -33с. (Препр./ АН Украины. Радиоастрономический институт; № 36).

7. Мирошніченко А. П. Властивості функцій світності вибірки галактик в декаметровому та оптичному діапазонах. // Інформаційний бюлетень УАА. -1995. -№ 7. -С.51-52.

8. Мирошніченко А. П. Сравнение параметров функций оптической и радиосветимости скоплений галактик, их связь с физическими характеристиками объектов. // Тезисы докладов XIX Всесоюзной конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии. -Таллин. -1987. С.27-28.

9. Мирошніченко А. П. Функции светимости квазаров в различных моделях Вселенной // Тезисы докладов XXIII конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии. - Ашхабад. -1991. - С.21.

10. Мирошніченко А. П. Функции светимости галактик в декаметровом и в оптическом диапазонах // Тезисы докладов XXV радиоастрономической конференции. - Пущино. -1993. -С.39.

11. Мирошніченко А. П. Эффекты эволюции в декаметровом и в оптическом диапазонах // Тезисы докладов XXV радиоастрономической конференции. - Пущино. -1993. -С.38-39.

12. Мирошніченко А. П. К периодичности активности ядер галактик и квазаров // Тезисы докладов XXVI радиоастрономической конференции. - Санкт-Петербург. -1995. -С.51-52.

АНОТАЦІЯ

Мірошніченко А. П. Дослідження функцій світності та ефектів еволюції галактик і квазарів в оптичному та радіодіапазонах.-Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.03.02 - астрофізика, радіоастрономія. - Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, 1997р.

Одержані функції світності (ФС) окремих скупчень галактик в радіодіапазоні на частоті 610 МГц, а також їх функції оптичної світності. Досліджені ефекти еволюції ФС скупчень галактик в оптичному та радіодіапазонах.

Вперше одержані та досліджені ФС галактик, ФС квазарів в декаметровому діапазоні по статистично повним вибіркам галактик, квазарів із каталогу УТР-2. Для порівняння визначені оптичні ФС галактик і ФС квазарів.

Проведено аналіз впливу оточення на ФС галактик. Знайдені емпіричні закони еволюції світності та просторового розподілу для галактик і для квазарів. Представлені оцінки характерних часів еволюції ФС квазарів в декаметровому та в оптичному діапазонах. Одержані оцінки передбачуваних періодів активності галактик і квазарів.

Ключові слова: галактики, квазари, скупчення галактик, функція світності, декаметровий діапазон, ефекти еволюції, просторовий розподіл, просторова густина, міжгалактичне середовище, вік Всесвіту.

АННОТАЦІЯ

Мірошніченко А. П. Исследование функций светимости и эффектов эволюции галактик и квазаров в оптическом и радиодиапазонах. - Рукопись.

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

Получены функции светимости (ФС) отдельных скоплений галактик в радиодиапазоне на частоте 610 МГц, а также их функции оптической светимости. Исследованы эффекты эволюции ФС скоплений галактик в оптическом и радиодиапазонах.

Впервые получены и исследованы ФС галактик, ФС квазаров в декаметровом диапазоне по статистически полным выборкам галактик, квазаров из каталога УТР-2. Для сравнения посчитаны оптические ФС галактик и ФС квазаров.

Проанализировано влияние окружения на ФС галактик. Найдены эмпирические законы эволюции светимости и пространственного распределения для галактик и для квазаров. Представлены оценки характерных времен эволюции ФС квазаров в декаметровом и в оптическом диапазонах. Получены оценки предполагаемых периодов активности галактик и квазаров.

Ключевые слова: галактики, квазары, скопление галактик, функция светимости, декаметровый диапазон, эффекты эволюции, пространственное распределение, пространственная плотность, межгалактическая среда, возраст Вселенной.

ABSTRACT

Miroshnichenko A. P. The investigation of the luminosity functions and the evolution effects of galaxies and quasars in the optical and radio waveband. - Manuscript. Dissertation for the Scientific Degree of the candidate of physical and mathematical sciences on speciality 01.03.02 - astrophysics and radioastronomy. -The Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 1997.

The radio luminosity functions (LF) were derived for the individual clusters of galaxies at the frequency 610 MHz and their optical luminosity functions were derived too. The evolution effects for the LF of galaxy clusters were studied in the radio and optical ranges.

For the first time the luminosity functions of galaxies, of quasars were derived and studied in decametric range using the statistical complete samples of galaxies, quasars from UTR-2 catalogue. The optical galaxy LF, quasar LF were calculated for comparison. The environment effect on galaxy LF was analysed.

The empirical evolution laws on the luminosity and on the space distribution of galaxies and quasars were found. The estimates of the quasar LF evolution characteristic times were presented for the decametric and optical range. The estimates of proposal activity periods for galaxies and quasars were derived.

Key words: galaxies, quasars, galaxy cluster, luminosity function, decametric range, evolution effects, space distribution, space density, intergalactic medium, Universe age.

Відповідальний за випуск Коноваленко О. О.
Підписано до друку 12.01.1998 р.. Формат паперу 60x80x16.
Папір офс.. Офс. друк.. Обсяг 1,0 фіз. д. л..
Зам. N 137 Тираж 100 прим.. Безкоштовно.

Ротапринт ІРЕ НАН України,
Харків-85, вул. Акад. Проскури, 12

AB 39.347

AB 39.347

Характеристика на предмет (наименование, материал, цвет, форма, размеры, вес, количество, состояние, примечания)

Характеристика на предмет (наименование, материал, цвет, форма, размеры, вес, количество, состояние, примечания)