



Рис. 4. Силові лінії магнітного поля в сонячній короні 1 серпня 2008 р., розраховані в потенціальному радіальному (зліва) і класичному (справа) наближенні. Верхня панель – розрахунок від фотосфери до поверхні джерела, нижня – навпаки. Магнітна нейтральна лінія на поверхні джерела показана товстою лінією

1. Гуляев Р.А., Филиппов Б.П. Структура солнечной короны и гелиосферный токовый слой // Докл. АН СССР. – 1992. – Сер. А. – Т. 322, № 2. – С. 268–271.
2. Івченко В., Єфіменко В, Буромський М. та ін. Спостереження повного затемнення Сонця 29 березня 2006 року експедицією Київського національного університету імені Тараса Шевченка // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія. –2006. – Т. 43. – С. 54–57.
3. Пішкало М.І., Баранський О.Р. Сонячна корона під час повного сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. // Кинематика и физика небес. тел. – 2009. – Т. 25, № 6. – С. 474–481.
4. Пішкало М.І., Садовенко Є.В. Структура і форма сонячної корони під час повного сонячного затемнення 29 березня 2006 р. // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – Т. 24, № 1. – С. 61–69
5. Солнечная корона и корпускулярное излучение в межпланетном пространстве. Под ред проф. С.К. Всехвятского. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1965. – 216 с.
6. Харшиладзе А.Ф., Иванов К.Г. Сферический гармонический анализ магнитного поля Солнца // Геомагнетизм и аэрономия. – 1994. – Т. 34, № 4. – С. 22–27.
7. Altschuler M.D., Newkirk G., Jr. Magnetic fields and structure of the solar corona // Solar Phys. – 1969. – Vol. 9, N 1. – P. 131–149.
8. Altschuler M.D., Levine R.H., Stix M., Harvey J. Hight resolution mapping of the magnetic field of the solar corona // Solar Phys. – 1977. – Vol. 51, N 2. – P. 345–375.
9. Bělik M., Marková E., Rušin V. White-light coronal structures during the 1988–1998 eclipses // Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso. – 1999. – Vol. 28, N3. – P. 230–236.
10. Loucif M.L., Koutchmy S. Solar cycle variations of coronal structures // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1989. – Vol. 77. – P. 45–66.
11. Ludendorff H. Über die Abhängigkeit der Form der Sonnenkorona von der Sonnenfleckenhäufigkeit // Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math. Klasse. – 1928. – Т. 16. – P. 185–192.
12. Schatten K.H., Wilcox J.M., Ness N.F. A model of interplanetary and coronal magnetic fields // Solar Phys. – 1969. – Vol. 6, N 2. – P. 442–455.
13. Sýkora J., Badalyan O.G., Obridko V.N. Connections between the white-light eclipse corona and magnetic fields over the solar cycle // Solar Phys. – 2003. – Vol. 212, N 2. – P. 301–318.

Надійшла до редколегії 18.05.09

УДК 524.7

С. Парновський

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНИХ КОЛЕКТИВНИХ РУХІВ ГАЛАКТИК
НА ОСНОВІ КАТАЛОГУ RFGC**

Розповідь про історію та результати дослідження великомасштабних колективних рухів галактик в астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка – від створення каталогів плоских галактик FGC та RFGC до отриманих результатів.

A brief account of history and results of investigation of large-scale collective galaxy motions at the Astronomical observatory of Kyiv Taras Shevchenko National University – from flat galaxies catalogues building to results obtained/

Вступ. У роботі [13] І.Д. Караченцевим було показано, що спіральні галактики пізніх типів, що видимі з ребра (плоскі галактики), є зручними тестовими частинками для дослідження великомасштабних пекулярних рухів. Серед причин можна назвати такі:

- Існує тісна кореляція між лінійним діаметром і шириною лінії водню для тонких безбалджових галактик. Це дозволяє визначати відстані без даних фотометрії.
- Плоскі галактики добре ідентифікуються за відношенням осей.
- плоскі галактики добре детектуються в лінії водню.
- Плоскі галактики уникають скупчень, тому їх форма не спотворена впливом інших галактик і плоскі галактики не взаємодіють з міжгалактичним газом скупчень.
- Пекулярні швидкості ізольованих плоских галактик не зазнають збурень від сусідніх галактик. За пропозицією І.Д. Караченцева, в АО КНУ та CAO РАН було створено каталог плоских спіральних галактик, видимих з ребра (Flat Galaxy Catalog, FGC [14]; друга, ревізована, версія цього каталогу – RFGC [16]). Вибір об'єктів для цього каталогу обумовлений їх перевагами з точки зору дослідження великомасштабних течій галактик, котрі перелічені вище. Каталог FGC був складений на основі візуального перегляду O і E пластинок Паломарського огляду неба (POSS) – власне каталог FGC, і J і R плівки огляду Південної Європейської обсерваторії ESO/SERC – продовження FGC у південній півкулі, FGCE. Спостереження на O-пластинках і J-плівках виконувалися в синьому фотометричному діапазоні, а на E-пластинках і R-плівках – у червоному. FGC охоплює діапазон схилень від -20° до $+90^\circ$, а FGCE – решту неба. До каталогу були включені 4455 галактик, що були відібрані за двома критеріями:
- Відношення осей $a/b \geq 7$.
- Великий діаметр у синьому фільтрі $a_p > 0.6'$.

Більше половини плоских галактик було каталогізовано вперше. FGC містить 2573 галактики, а FGCE – 1872. Середня гранична поверхнева яскравість галактик, виміряних на O і E картах POSS дорівнює $25 \text{ mag}/\square''$. Система діаметрів цих галактик називається P-системою. Середня гранична поверхнева яскравість галактик, виміряних на J і R плівках ESO/SERC дорівнює $25.5 \text{ mag}/\square''$. Система діаметрів цих галактик називається E-системою. Була побудована функція діаметрів плоских галактик. Діаметри галактик FGCE були приведені до P-системи, яка виявилася близькою до системи a_{25} каталогу RC3. Каталог плоских галактик однорідний до діаметра $a=0.9$ (за тестом Шмідта) і повний до такого ж діаметру за аналізом залежності $\lg N(\lg a)$.

Після створення каталогу FGC деякий час проводилось вивчення властивостей каталогу та його об'єктів. Вони описані, зокрема, у статтях [1, 3–7, 15, 19].

Відзначимо дослідження розподілу відношення осей галактик [5]. Видиме відношення осей a/b є важливою характеристикою, оскільки використовується при редукції за нахил галактики практично всіх спостережених величин: діаметра, зоряної величини, ширини лінії водню, від яких залежить оцінка маси та світності галактики. При дослідженні розподілу галактик каталогу за морфологічними типами та відношенням осей були отримані такі результати:

- значення a/b та морфологічні типи, що наведено в обох частинах каталогу, добре узгоджуються між собою та з даними основних каталогів галактик RC3 та UGC;
- значення a/b у середньому не залежать від відстані та світності галактики, що свідчить про відсутність значущих ефектів селекції у каталозі;
- плоскі галактики, що орієнтовані з ребра, відповідають загальній залежності “стиснення – морфологічний тип”, яку було встановлено для галактик з довільною орієнтацією.

Для теорії утворення та стійкості форм спіральних галактик принциповим є питання про максимально допустимі значення істинних відношень осей. Найбільш надійними є статистичні оцінки максимальних стислостей, що ґрунтуються на дослідженнях поведінки функції розподілу в області великих стислостей. Шляхом переходу від розподілу плоских галактик за видимими стислостями до розподілу за істинними стислостями було показано, що максимальне значення істинного відношення a/b становить 25.8.

Подальші дослідження призвели до створення нової, доповненої і виправленої версії каталогу плоских галактик RFGC. Основними обставинами, що зумовили побудову RFGC були:

1. можливість перевимірювання координат плоских галактик з використанням Palomar Digital Sky Survey з точністю приблизно 3 arcsec ;
2. включення даних про “червоні” діаметри деяких галактик, що були відсутні в FGC через брак фотографічного матеріалу;
3. необхідність зведення систем діаметрів FGC та FGCE у єдину систему: приведення діаметрів, виміряних на J та R плівках ESO/SERC, до P-системи, що зменшує різницю у фотографічній глибині двох частин каталогу;
4. обчислення інтегральних видимих величин із середньоквадратичним відхиленням 0.25 зоряної величини для всіх плоских галактик, ґрунтуючись на кутових розмірах, поверхневій яскравості та інших параметрах;
5. можливість визначення галактичного поглинання в напрямі на кожну галактику;
6. необхідність виправлення деяких помилок, виявлених під час роботи з дослідження каталогу FGC. На основі цих каталогів було уточнено характеристики нехаблівських течій на масштабі 100 Мпк. Ці дослідження необхідні для визначення розподілів маси, зокрема, їх можна застосовувати для оцінки параметрів великих концентрацій маси типу Великого Атрактора.

Колективні рухи плоских галактик на масштабах 100 Мпк. Роботи цього напрямку пов'язані з дослідженням колективних нехаблівських рухів галактик, що спостерігаються з ребра та входять у каталог RFGC. Для вивчення нехаблівських рухів і поля пекулярних швидкостей галактик на різних масштабах потрібні великі вибірки галактик з відомими променевими швидкостями V_r і незалежними оцінками відстаней. Каталог плоских галактик RFGC є однорідною вибіркою 4236 спіральних галактик, видимих із ребра, що охоплює досить рівномірно все небо. Починаючи зі створення першої версії FGC, автори збирали дані про променеві швидкості і ширини лінії H α для галактик каталогу. У 1995 р. за даними спостережень приблизно 800 FGC-галактик одержано в дипольному наближенні оцінку модуля

швидкості й апекса колективного руху плоских галактик $V = 260$ км/с, $l = 319^\circ$, $b = +28^\circ$, використовуючи пряму залежність Таллі-Фішера [17]. На наступному етапі для незалежної оцінки відстаней приблизно 1000 плоских галактик була використана узагальнена багатопараметрична залежність Таллі-Фішера та у дипольному наближенні були отримані значення $V = 300$ км/с, $l = 328^\circ$, $b = +7^\circ$ [2], що добре узгоджується з результатом, отриманим для галактик каталогу Mark III, $V = 370$ км/с, $l = 305^\circ$, $b = +14^\circ$.

На 2000 рік були зібрані 5 вибірок даних по променевих швидкостях і ширинах HI:

1. Вибірка 490 плоских галактик, які спостерігалися на телескопі Аресібо.
2. Для 300 галактик були проведені спостереження оптичних кривих обертання на 6-метровому телескопі САО РАН. Максимальні швидкості обертання були переведені в значення ширини лінії водню W .
3. Дані про ширини лінії водню для 167 галактик були взяті з каталогу RC3.
4. Були використані дані про ширини лінії водню, отримані на 64-м Паркському радіотелескопі і про оптичні криві обертання, отримані на 2.3-м телескопі Сайдінг Спрінг. До цієї підвибірки увійшов список 177 галактик.
5. 193 галактики з даними про ширини лінії водню, отриманими на радіотелескопах Нансі і Грін Бенк.

Зібрані спостережні дані по променевих швидкостях і ширинах HI для 1300 RFGC-галактик дали змогу визначення параметрів колективного руху плоских галактик у різних варіантах колективного руху: в дипольній (D), квадрупольній (DQ) та октупольній (DQO) моделі [8]. D-модель розглядає тільки дипольну складову руху, у DQ-моделі і DQO-моделі додається відповідно квадрупольна і квадрупольна+октупольна компоненти.

Для визначення відстаней до галактик була використана багатопараметрична залежність Таллі-Фішера, що враховує амплітуду обертання галактики, її синій і червоний кутовий діаметр, поверхневу яскравість і морфологічний тип. Параметри цієї залежності разом із параметрами моделі руху (від 3 до 18) визначаються методом найменших квадратів для підвбірок з обмеженням максимальної відстані до галактик R_{\max} .

Після виходу з друку статті [8] робота була продовжена. При підготовці статті [9] були додані дані про 216 нових галактик, що увійшли до нової вибірки. Вони мають середні скоректовані величини ширини $\langle W \rangle = 295$ км/с, швидкості у системі реліктового випромінювання $\langle V_{3k} \rangle = 5152$ км/с, $\langle a_b \rangle = 1.32'$, $\langle a_r \rangle = 1.25'$. Для 34 галактик, дані про які змінилися в порівнянні з попередньою вибіркою, середні скоректовані розміри рівні $\langle a_b \rangle = 1.16'$, $\langle a_r \rangle = 1.07'$. Аналіз отриманих результатів свідчить, що:

- Параметри багатопараметричної регресії Таллі-Фішера добре співпадають для всіх розглянутих варіантів. Усі відхилення лежать у межах похибок.
- Апекси дипольної складової колективної швидкості близькі для всіх моделей і підвбірок, а також до раніше визначеного в роботі [19] $l = 328^\circ \pm 15^\circ$, $b = 7^\circ \pm 15^\circ$. Додавання квадруполя практично не позначається на модулі дипольної швидкості при всіх R_{\max} . Однак при 7000 км/с $< R_{\max} < 9000$ км/с додавання октуполя приводить до істотно зменшення модуля дипольної складової швидкості. Опрацювання тих самих даних однаковим методом, але для моделей з октупольною складовою і без неї, приводить до якісно різних висновків про розмір швидкості колективного руху.
- Квадрупольні й октупольні складові є статистично значущими. Перша з них приводить до невеликої (5-8% на характерному масштабі $R_{\max} = (6000-10000)$ км/с) анізотропії розбігу галактик, що можна описати, увівши залежну від напрямку тензорну "постійну Хабла". У межах Місцевого надскупчення ($R_{\max} = 3000$ км/с) амплітуда квадруполя досягає $\sim 20\%$. Врахування октупольної складової приводить до зменшення амплітуди диполя до (134 ± 11) км/с на масштабі ~ 8000 км/с. Найбільше примітною особливістю поля пекулярних швидкостей галактик при $R_{\max} = 8000$ км/с є зона мінімуму з центром $l = 80^\circ$, $b = 0^\circ$ (сузір'я Лебедя), амплітуда якої досягає $\sim 18\%$ від середньої хабблівської швидкості. Відзначимо, що аналіз тих самих спостережних даних без врахування або з врахуванням октуполя може призводити до істотно різних висновків про сталість або зменшення амплітуди дипольної складової колективних рухів галактик із зростанням об'єму вибірки.

На відстанях, що відповідають хабблівській швидкості біля 6000 км/с, внески дипольної, квадрупольної і октупольної складової є порівняні за величиною. Цю відстань можна вважати характерним масштабом неоднорідностей поля швидкостей у розглянутих моделях. На менших відстанях основний внесок у колективний рух галактик вносить дипольна компонента швидкості.

На основі результатів роботи [9] було складено новий список пекулярних швидкостей [21] (перший список пекулярних швидкостей [18] базувався на результатах роботи [8]). За його допомогою були отримані нові результати у двох дуже важливих напрямках позагалактичної астрономії та астрофізики. Перший з них – космографія, тобто відновлення розподілу густини матерії, включаючи темну, а також тривимірного векторного поля швидкостей колективних рухів галактик за його однією радіальною складовою. Для відстаней до 100 Мпк це було зроблено в роботі [12] за допомогою метода POTENT. Було показано, що просторовий розподіл темної матерії на великих масштабах приблизно відповідає розподілу світної матерії, встановленому за розподілом джерел IRAS. Також було оцінено надлишкові маси основних надскупчень – Великого Атрактора, надскупчення Персей-Риби, тощо.

Другий напрямок, в якому були застосовані дані про пекулярні швидкості RFGC-галактик – це космологія. В роботах [10, 20] були знайдено оцінка двох космологічних параметрів – Ω_m та σ_8 . Оскільки довірчі інтервали їх спільного розподілу обмежені дуже витягнутою границею, комбінації цих параметрів виду $\sigma_8 \Omega_m^\alpha$ мають менші похибки, ніж самі параметри окремо. Значення та похибки таких комбінацій при різних значеннях параметру α були знайдені та порівняні зі спостережними даними в роботі [11]. Було виявлено, що найкраще обмеження дає значення параметру $\alpha = 0.37$. Воно має вигляд $(\Omega_m/0.3)^{0.37} \sigma_8 = 0.92 \pm 0.05$.

За п'ять років, що минуло з часу виходу з друку роботи [9], у вибірку даних по променевих швидкостях і ширини HI для RFGC-галактик були додані дані приблизно 200 галактик. У 2009 р. передбачається подати до друку результати опрацювання цієї нової вибірки.

2. Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Кудря Ю.Н., Парновский С.Л. Коллективные движения галактик из каталога FGC на масштабах 100 Мпк // Астрон. журн. – 2000. – Т. 77. – С. 175–187.
3. Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Кудря Ю.Н. Некоторые свойства плоских галактик из каталога FGC // Письма в Астрон. журн. – 1999. – Т. 25, №1. – С. 3–9.
4. Кудря Ю.Н., Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Парновский С.Л. Общие свойства каталога плоских галактик. Функция диаметров // Письма в Астрон. журн. – 1997. – Т. 23, №1. – С. 15–23.
5. Кудря Ю.Н., Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Парновский С.Л. Максимальные видимые и истинные сжатия плоских галактик // Письма в Астрон. журн. – 1994. – Т. 20, №1. – С. 13–17.
6. Кудря Ю.Н., Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Парновский С.Л. Общие свойства каталога плоских галактик. Видимые сжатия и морфологические типы // Письма в Астрон. журн. – 1997. – Т. 23, №9. – С. 652–658.
7. Кудря Ю.Н., Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Парновский С.Л. Видимые величины и диаграмма Талли-Фишера для галактик FGC каталога // Письма в Астрон. журн. – 1997. – Т. 23, №10. – С. 730–735.
8. Парновский С.Л., Кудря Ю.Н., Караченцева В.Е., Караченцев И.Д. Коллективное движение плоских галактик на масштабах 100 Мпк в квадрупольном и октупольном приближениях // Письма в Астрон. журн. – 2001. – Т. 27, №12. – С. 890–900.
9. Парновский С.Л., Тугай А.В. Коллективные движения галактик на масштабе 100 Мпк с использованием новых данных // Письма в Астрон. журн. – 2004. – Т. 30, №6. – С. 403–413.
10. Парновский С.Л., Гайдамака О.З., Шаров П.Ю. Оценка космологических параметров по peculiar скоростям плоских галактик каталога RFGC // Кинематика и физика небес. тел. – 2004. – Т. 20, № 2. – С. 112–117.
11. Парновский С.Л. Определение комбинации космологических параметров $\Omega_m \sigma_8$ // Письма в Астрон. журн. – 2008. – Т. 34, №7. – С. 496–502.
12. Шаров П. Ю., Парновский С. Л. Распределение плотности материи на масштабах 75 Мпк, полученное методом POTENT по коллективным движениям RFGC галактик // Письма в Астрон. журн. – 2006. – Т. 32, №5. – С. 323–332.
13. Karachentsev I.D. Thin edge-on galaxies as a tool for the investigation of large-scale streaming motions in the universe // Astron. J.–1989.–Vol. 97, №6. – P. 1566–1576.
14. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Parnovsky S.L. Flat Galaxy Catalogue // Astron. Nachr. – 1993. – Vol. 314, №3. – P. 97–222.
15. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N., Parnovsky S.L. "DISKOTEKA" – a new catalog of thin edge-on galaxies // Astron. Astrophys. Transactions. – 1995. – Vol.4. – P.143-151.
16. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E, Kudrya, Yu. N., Sharina, M. E., Parnovsky S.L. The Revised Flat Galaxy Catalogue. // Bull. SAO – 1999. – Vol. 47. – P.5-185.
17. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E, Kudrya, Yu. N., Parnovsky S.L. Large-scale streaming of flat galaxies // Astron. Nachr. – 1995. – Vol. 316, №6. – P.369-380.
18. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E, Kudrya, Yu. N., Makarov, D. I., Parnovsky S.L. A list of peculiar velocities of galaxies from the RFGC catalogue. // Bull. SAO – 2000. – Vol. 50. – P. 5–38.
19. Parnovsky S.L., Karachentsev I.D., Karachentseva V.E. Global anisotropy of galaxy orientations // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 1994. – Vol. 268. – P. 665–680.
20. Parnovsky S. L., Sharov P. Yu., Gaydamaka O. Z. Estimation of cosmological parameters from peculiar velocities of flat edge-on galaxies// Astrophys. Space Sci. – 2006. – Vol. 302, № 1-4. – P. 207–211.
21. Parnovsky S. L., Tugay A. V. Description of the new list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Вісн. Київ. ун-ту. Астрономія – 2006. – Вип. 43. – С. 51–54.

Надійшла до редколегії 13.05.09

УДК 524.8

С. Хміль

СПОСТЕРЕЖНІ ОБМЕЖЕННЯ НА КОСМОЛОГІЧНУ СТАЛОЇ

Подано короткий огляд основних методів визначення космологічної сталої Λ із спостережень.

A short review of the principal methods for determination of the cosmological constant Λ is given.

Вступ. З історичної точки зору космологічна стала Λ – це додатковий член у рівняннях загальної теорії відносності, який був введений Айнштайном чисто формально для забезпечення існування статичних космологічних моделей [10]. Коли в кінці 20-х рр. минулого століття було виявлено, що Всесвіт є нестационарним, зникла потреба у збереженні цієї сталої, і про неї згадували лише принагідно, як про штучний засіб узгодження теорії та спостережень. Проте у другій половині XX ст., внаслідок швидкого накопичення спостережних даних та під впливом досягнень квантової теорії поля, поступово стала викристалізовуватись думка, що ця стала може репрезентувати фізичні властивості вакууму. Ця точка зору узгоджується з твердженням загальної теорії відносності про те, що всі форми енергії та матерії мусять впливати на кривину простору-часу. Особлива зацікавленість у визначенні величини космологічної сталої з'явилась у 1990-х рр. у зв'язку з відкриттям прискореного розширення Всесвіту.

Ненульова космологічна стала Λ впливає на багато космологічних параметрів і характеристик. Найголовніші серед них такі: динаміка розширення, вік Всесвіту, міри віддалей, супутня густина об'єктів, зростання лінійних збурень, імовірності гравітаційного линзування (більш детальний виклад див., наприклад, в огляді [4]). Іншими словами, як просторова геометрія, так і еволюція Всесвіту в минулому можуть значно змінитися за наявності космологічної сталої. Існують декілька методів спостереженого визначення величини Λ . Найважливіші з цих методів та результати їх застосування подані у цьому короткому огляді.

Зауважимо, що при аналізі спостережень звичайно використовують замість космологічної сталої Λ безрозмірний параметр $\Omega_\Lambda = \Lambda/3H_0^2$, де H_0 – стала Хаббла. Для густини матерії ρ_M використовується аналогічний параметр $\Omega_M = 8\pi G\rho_M/3H_0^2$. Причому у простово-плоскому Всесвіті $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$ (докладніше див. [4]). Рівняння стану вакууму має досить незвичний вигляд: $p_\Lambda = w\rho_\Lambda$, де $w = -1$, тобто вакуум має негативний тиск. Величина параметра w також може бути визначена із спостережень.

Загальні міркування щодо величини космологічної сталої. Виявляється, що можна встановити обмеження на величину космологічної сталої, користуючись загальними відомостями про Всесвіт. Розглянемо деякі з них.

1. **Об'єкти з великим червоним зміщенням.** Наявність цих об'єктів однозначно виключає деякі екзотичні всевіти з параметром космологічної сталої $\Omega_\Lambda > 1$. Існування квазарів з великими червоними зміщеннями ($z > 5$) та