

4. Волощук Ю. И., Кащеев Б. Л., Кручиненко В. Г. Метеоры и метеорное вещество / Ю. И. Волощук, Б. Л. Кащеев, В. Г. Кручиненко. – Киев : Наук. думка, 1989. – 294 с.
5. Кручиненко В. Г. Математико-фізичний аналіз метеорного явища / В. Г. Кручиненко. – К. : Наук. думка, 2012. – 294 с.
6. Kruchinenko V. G., Kazantsev A. M., Taranukha Yu. G. et al. Catalogue of Perseid shower meteors on TV observations in Kyiv during 1991–1993 / V. G. Kruchinenko, A. M. Kazantsev, Yu. G. Taranukha, P. M. Kozak, S. S. Yeryomin, O. O. Rozhlyo, L. M. Smertyuk // Visn. Kiev Univ. Astronomy. – 1997. – № 34. – P. 94–117.
7. Fujiwara Y., Ueda M., Shiba Y. et al. Meteor luminosity at 160 km altitude from TV observations for bright Leonid meteors / Y. Fujiwara, M. Ueda, Y. Shiba, M. Sugimoto, M. Kinoshita, C. Shimoda, T. Nakamura // Geophysical Research Letters. – 1998. – 25. – 8. – P. 285–288.
8. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part I. In an isothermal atmosphere / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer. – 1950. – 36, № 12. – P. 686–695.
9. Whipple F. L. The theory of micro-meteorites. Part II. In heterothermal atmospheres / F. L. Whipple // Proc. Nat. Acad. Sci. Amer. – 1951. – 37, № 1. – P. 19–29.
10. Фесенков В. Г. К вопросу о микрометеоритах / В. Г. Фесенков // Метеоритика. – 1955. – 12. – С. 3–14.
11. Lindblad B. A. The IAU meteor data center / B. A. Lindblad. – Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001 (ed. B. Warmbein), Kiruna (Sweden). – 2001. – P. 71–72.
12. Lindblad B. A., Neslusan L., Svoren J., Porubcan V. The updated version of the IAU MDC database of photographic meteor orbits / B. A. Lindblad, L. Neslusan, J. Svoren, V. Porubcan. – Proc. Int. Conf. Meteoroids 2001 (ed. B. Warmbein), Kiruna (Sweden). – 2001. – P. 73–75.
13. Jopek T. J., Kanuchova Z. Current status of the IAU MDC Meteor Showers Database / T. J. Jopek, Z. Kanuchova. – Proc. Astron. Conf. Meteoroids 2013, Eds.: T. J. Jopek, F. J. M. Rietmeijer, J. Watanabe, I. P. Williams., Poznan (Poland) – A. M. Univ. Press. – 2014. – P. 353–364.
14. IAU Meteor Data Center: www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/.
15. Betlem H., Jenniskens P., Leven J. et al. Very precise orbits of 1998 Leonid meteors / H. Betlem, P. Jenniskens, J. Leven, C. Kuile, C. Johannink, H. Zhao, C. Lei, G. Li, J. Zhu, S. Evans, P. Spurny // Meteoritics and Planetary Science. – 1999. – 34. – P. 979–986.
16. Spurny P., Betlem H., Leven J. V., Jenniskens P. Atmospheric behavior and extreme beginning heights of the thirteen brightest photographic Leonid meteors from the ground based expedition to China / P. Spurny, H. Betlem, J. V. Leven, P. Jenniskens // Meteoritics and Planetary Science. – 2000. – 35. – P. 243–249.
17. Campbell M. D., Brown P. G., LeBlanc A. G. et al. Image-intensified video result from the 1998 Leonid shower: I. Atmospheric trajectories and physical structure / M. D. Campbell, P. G. Brown, A. G. LeBlanc, R. Hawkes, J. Jones, S. Worden, R. Correll // Meteoritics and Planetary Science. – 2000. – 35. – P. 1259–1267.
18. Koten P., Spurny P., Borovicka J. et al. The beginning heights and light curves of high-altitude meteors / P. Koten, P. Spurny, J. Borovicka, S. Evans, A. Elliott, H. Betlem, R. Stork, C. Jobse // Meteoritics and Planetary Science. – 2006. – 41, Nr. 9. – P. 1305–1320.
19. Sonota Co A meteor shower catalog based on video observations in 2007–2008 // WGN, the Journal of the IMO. – 2009. – 37:2. – P. 55–62.
20. Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г. Кінематичні параметри метеорів за результатами базисних телевізійних спостережень в період осіннього рівнодення 2001 року / П. М. Козак, О. О. Рожило, Ю. Г. Тарануха // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2012. – Вип. 49. – С. 19–24.
21. Козак П. М., Рожило О. О., Тарануха Ю. Г., Кручиненко В. Г. Кінематичні характеристики вересневих метеорів за базисними телевізійними спостереженнями 2003 року / П. М. Козак, О. О. Рожило, Ю. Г. Тарануха, В. Г. Кручиненко // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17, № 4. – С. 51–62.
22. Kozak P., Rozhilo O., Kruchynenko V., Kazantsev A., Taranukha A. Results of processing of Leonids-2002 meteor storm TV observations in Kyiv / P. Kozak, O. Rozhilo, V. Kruchynenko, A. Kazantsev, A. Taranukha // Advances in Space Research. – 2007. – 39. – 4. – P. 619–623.

Надійшла до редколегії 01.08.17

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук
Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

МЕТЕОРЫ С АНОМАЛЬНЫМИ ВЫСОТАМИ ПОЯВЛЕНИЯ ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В КИЕВЕ

На основании дополнительного пересмотра и уточненной обработки видеозаписей базисных телевизионных наблюдений метеоров в Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко проведена селекция метеоров с аномальными фотометрическими и кинематическими характеристиками. Особенное внимание уделено регистрации метеоров на сверхбольших высотах – более 130 км. В отличие от практически установленных на данный момент фактов о появлении быстрых ярких болидов, создаваемых массивными телами, принадлежащих потокам Леонид, Персеид, Орионид на высотах свыше 130–135 км, вплоть до высот 160–195 км, получено подтверждение появления на аномальных высотах слабых метеоров малой массы порядка $\sim 10^{-3}$ г. В 1993 г. при наблюдениях метеорного потока Персеид нами был впервые зарегистрирован поточный метеор с высотой появления 136.84 ± 0.12 км и массой около 0.35 г. В 2001 и 2003 гг. во время сентябрьских наблюдений спорадических метеоров зарегистрирован лишь один метеор из 98 на высоте превышающей 135 км. При наблюдениях метеорного шторма Леониды в 2002 г. было зарегистрировано пять относительно слабых метеоров, принадлежащих потоку с высотами появления более 135–140 км и массами $\sim 10^{-3}$ г.

Ключевые слова: метеоры; видеонаблюдения метеоров; аномальные метеоры; сверхбольшие высоты появления метеоров.

P. Kozak, Ph.D.
Astronomical Observatory
Taras Shevchenko National University of Kyiv

METEORS WITH ANOMALOUS APPARENT HEIGHTS FROM TV OBSERVATIONS IN KYIV

Basing on additional studying and précised processing of video-records of double-station meteor TV observations in Astronomical Observatory of Taras Shevchenko National University of Kyiv the selection of meteors with anomalous photometrical and kinematical characteristics has been carried out. A special attention was paid to the registration of meteors on extreme heights exceeding 130 km. In opposite to practically proved at the moment facts about appearance of fast bright bolides created by massive bodies belonging to Leonids, Perseids and Orionids streams on heights over 130–135 km, and up to even 160–195 km we obtained the confirmation of appearance on the anomalous heights of low-light meteors of masses $\sim 10^{-3}$ g. In 1993 during observations of Perseid meteor shower we registered for the first time the shower meteor with apparent height of 136.84 ± 0.12 km. In 2001 and 2003 during September observations of sporadic meteors we registered only one meteor from 98 on the height over 135 km. During observations of Leonids meteor storm in 2002 we registered five relatively low-light meteors belonging to the shower with apparent heights exceeding 135–140 km with masses $\sim 10^{-3}$ g.

Key words: meteors; video observations of meteors; extremely high apparent heights of meteors.

УДК 524.7

Ю. Кудря, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

БАРИОННА ЗАЛЕЖНІСТЬ ТАЛЛІ – ФІШЕРА ДЛЯ ГАЛАКТИК ІЗ КАТАЛОГУ 2MFGC

Представлено баріонні та зоряні (масові) залежності Таллі – Фішера (ТФ), що прокалібровані на вибірках галактик із каталогу 2MFGC, які мають оцінки водневих мас. Прокалібровано залежності як на основі вихідної вибірки галактик об'ємом $N=2988$, сформованої за даними HubbleLEDA та каталогу 2MFGC, так і залежності на основі певним чином почищених підвбірок. Двопараметрична баріонна залежність ТФ для почищеної вибірки об'ємом $N = 2831$ і відповідна

© Кудря Ю., 2017

її двопараметрична зоряна залежність для почищеної вибірки об'ємом $N = 2790$ характеризуються стандартними відхиленнями $\sigma_{BTF} = 0.196$ і $\sigma_{STF} = 0.207$, відповідно. За аналогією зі "звичайними" інфрачервоними залежностями ТФ (тобто залежностями абсолютних зоряних величин від ширин радіолінії 21 см або від швидкостей обертання галактик) було здійснено спробу покращити залежності введенням чотирьох додаткових регресорів (поверхневу яскравість, індекс концентрації, колір і відношення осей). Виявилось, що введення таких регресорів у баріонну й зоряну ТФ-залежності для вихідної вибірки об'ємом $N=2988$ покращує σ_{BTF} на 11% і σ_{STR} на 17.5%. Виявилось також, що шести-параметричні баріонна й зоряна ТФ-залежності для почищених вибірок характеризуються тими саме значеннями σ_{BTF} і σ_{STF} , що й двопараметричні залежності при дещо більших об'ємах почищених вибірок. Тобто багато-параметричні залежності дають можливість оцінювати баріонні й зоряні маси для дещо більшої кількості галактик на тому саме рівні точності. У цій роботі на наших вибірках було підтверджено також відомий факт, що баріонні ТФ-залежності мають менший розкид, ніж зоряні ТФ-залежності. Двопараметрична баріонна залежність на почищеній вибірці виявилася сумісною із залежністю для надтонких дискових галактик.

Ключові слова: галактики, залежність Таллі – Фішера, баріонна залежність Таллі – Фішера, баріонна маса галактик, зоряна маса галактик.

1 Вступ. Інфрачервоні залежності Таллі – Фішера (ЗТФ) для вибірок галактик із каталогу 2MFGC (2MASS selected Flat Galaxy Catalog) [1] успішно використовується для вивчення локального поля швидкостей [2–6]. При цьому ефективними виявилися багато-параметричні узагальнення ЗТФ із використанням додаткових інфрачервоних та оптичних характеристик. Багатопараметричні ЗТФ використовують для того, щоб урахувати можливі фізичні причини розкиду звичайних двопараметричних ЗТФ.

Суттєвими особливостями опрацювання даних у дослідженнях [2–6] є такі: 1) калібрування ЗТФ, тобто визначення параметрів апроксимації, відбувається на тій самій вибірці, для галактик якої потім за методом найменших квадратів уточнюються відстані та пекулярні швидкості; 2) обчисленню параметрів поля швидкостей передедує процес "чищення" вибірки за формальним правилом 3-сигм і за емпіричним обмеженням модуля індивідуальної пекулярної швидкості значенням 3000 км/с. Статистика причин відхилень від вказаних двох умов проаналізовано в роботі [7]. Зауважимо, що в більш поширеному способі калібрування ЗТФ використовуються еталонні вибірки галактик із мінімальними спостережними похибками.

У багатьох роботах МакГог і співавтори [8, 9, 10], а також інші автори [11], звертали увагу на те, що більш змістовним є співвідношення між швидкістю обертання галактик і їх баріонною або зоряною масами, ніж світністю у певній фотометричній смузі. Баріонна ЗТФ (БЗТФ) зв'язує швидкість обертання спіральної галактики зі сумарною баріонною масою (M_{bary}) і простягається на 5 порядків за значенням M_{bary} [9].

Теоретична основа для БЗТФ виявилася проблематичною. Розрахунки в межах космологічної Λ CDM-моделі передбачають занадто малий нахил БЗТФ і занадто великий її розкид. Однак аналіз спостережних даних дає, що внутрішнє розсіяння БЗТФ є дуже малим, сумісним із припущенням про його нульове значення [10, 12]. Внутрішнім розсіянням називають таку його частину, що обумовлена фізичними причинами (морфологічним типом, наприклад). Спостережене достатньо велике розсіяння може бути пояснено похибками спостережень і невизначеністю відношення зоряної маси до світності. Цей факт викликає сумніви у висновках у межах космологічної моделі з темною матерією, яка передбачає значне розсіяння від гало до гало.

Метою цієї роботи є побудова БЗТФ для вибірок галактик із каталогу 2MFGC, ґрунтуючись на 2MASS-фотометрії та даних із HyperLEDA, зокрема швидкостей обертання і променевих швидкостей, і порівняння точності таких залежностей з іншими визначеннями. Ми будемо також зоряні ЗТФ (ЗЗТФ), якими тут ми називаємо залежність зоряної маси від швидкості обертання. У всіх розглянутих випадках БЗТФ і ЗЗТФ ми проводимо очищення вибірок за аналогією з тим, як це робилося для ЗТФ у варіанті з абсолютними величинами, але лише за правилом 3-сигм. Ми також пробуємо покращити БЗТФ і ЗЗТФ введенням додаткових регресорів.

2 Нова вибірка 2MFGC-галактик. У 2006 р. було створено вибірку $N=3074$ галактик каталогу 2MFGC із відомими швидкостями обертання та променевими швидкостями, необхідними для побудови ЗТФ у варіантах з абсолютними K_s - або J -величинами [2]. Для 2724 галактик були визначені [2] та опубліковані [3] їхні індивідуальні відстані та пекулярні швидкості за багато-параметричною ЗТФ. Дипольний колективний рух галактик цієї вибірки відносно космічного мікрохвильового випромінювання характеризується швидкістю $V = 199 \pm 37$ км/с у напрямі $l = 304^\circ \pm 11$, $b = -8^\circ \pm 8^\circ$ галактичних координат.

Вибірка $N=2724$ 2MFGC-галактик на момент її створення була однією з найбільш представницьких і однорідних вибірок, призначених для аналізу не-Габблівських рухів галактик на масштабі ~ 100 Мпк. Із 2724 галактик 2166 мають у HyperLEDA радіо-величини m_{21} , що необхідні для оцінки газової маси та побудови баріонної залежності. Однак, за минулі 10 років кількість 2MFGC-галактик із необхідними даними істотно збільшилася. Так, на грудень 2016 р. у базі даних HyperLEDA налічувалося ~ 3750 галактик із даними для "звичайних" ЗТФ і з них ~ 3000 із радіо-величинами. Для цієї роботи ми сформуваємо нову вибірку, причому з використанням основних ТФ-даних (швидкостей обертання і променевих швидкостей) лише з бази даних HyperLEDA. Крім істотно збільшеної вибірки це гарантує єдиний підхід до взаємного перерахунку ширини радіолінії 21 см (на різних рівнях від пікових значень) і пов'язаної з ними максимальної швидкості обертання V_{rot} .

Друга обставина, яку необхідно врахувати при формуванні нової вибірки є поява серед 2MFGC-галактик списку "фальшивих" об'єктів [13]. Каталог 2MFGC дископодібних галактик, що складається з 18020 об'єктів усього неба, був автоматично відібраний із 1.64 млн протяжних об'єктів каталогу 2MASS XSC [14]. Як виявилось, XSC містить "фальшиві" об'єкти, які перейшли в каталог 2MFGC. Вони виникли внаслідок об'єднання при фотометрії пари або ланцюжка галактик і зір, при проектуванні зір на галактику. Крім того, подовжені контрастні бари або балджі галактик, чия спіральна структура проявляється лише у видимому діапазоні, можуть симулювати плоску галактику. Для зменшення таких помилок у ході складання каталогу 2MFGC було переглянуто на кадрах (J, H, K_s) 2MASS і DSS1 кілька тисяч зображень галактик. Однак із часом стало зрозуміло, що є необхідність у перегляді всіх зображень

2MFGC-об'єктів. Метою такої роботи було виключення "фальшивих" об'єктів, що дозволило б підвищити точність досліджень. Результати перегляду опубліковані в [13]. Виявилось, що 1512 об'єктів із 18020 є "фальшивими". У цій роботі помилкові об'єкти виключалися з розгляду. Зауважимо, що в 2MFGC є також 23 подвійних входження. Ми залишаємо їх у каталозі, збільшуючи тим самим статистичну вагу "подвійних" галактик.

3 Баріонна та зоряна залежності Таллі – Фішера для галактик каталогу 2MFGC. Щоби відрізнити масу від абсолютної величини, масу ми позначаємо прямими літерами M . Зоряну масу M^* галактики визначаємо за її L_K -світністю (абсолютною величиною M_K):

$$M^*/M_{Sun} = \chi \cdot L_K / L_{K,Sun} \equiv \chi \cdot dex\{0.4 \cdot (M_{K,Sun} - M_K)\} \quad (1)$$

Вважаємо, що коефіцієнт χ набуває або значення $\chi = 1$ [15], хоча можливі інші варіанти, наприклад $\chi = 0.57$ [10]. Для абсолютної величини галактики вважаємо вираз із фотометричною відстанню d у мегапарсеках:

$$M_K = K_s^c - 25 - 5 \cdot \log d, \quad (2)$$

для Сонця $M_{K,Sun} = 3^m \cdot 28$. Видима величина K_s скоригована за поглинання в нашій Галактиці: $K_s^c = K_s - 0.084 A_g$ [16], де A_g – поглинання у В-фільтрі. Підставлення (2) у (1) дає вираз для зоряної маси:

$$M^*/(10^{10} M_{Sun}) = \chi \cdot d^2 \cdot dex\{0.4 \cdot (M_{K,Sun} - K_s^c)\} \quad (3)$$

Воднева маса M_{HI} залежить від потоку F у лінії 21 см (в Янський • км/с):

$$\log(M_{HI} / M_{Sun}) = \log F + 2 \log d + 5.37 \quad (4)$$

У HyperLEDA замість потоку дається радіо-величина в лінії 21 см, $m_{21} = -2.5 \cdot \log F + 17.40$. Тоді після деяких перетворень маємо вираз для водневої маси:

$$M_{HI} / (10^{10} M_{Sun}) = 2.138 \cdot d^2 \cdot dex\{2 - 0.4 \cdot m_{21}\} \quad (5)$$

Із урахуванням маси гелію, молекулярного водню газова маса визначається виразом:

$$M_{gas} / (10^{10} M_{Sun}) = \alpha M_{HI} / (10^{10} M_{Sun}) = 2.138 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot dex\{2 - 0.4 \cdot m_{21}\} \quad (6)$$

Звичайно вважають $\alpha = 1.33$ лише з урахуванням маси гелію, $\alpha = 1.4$ – із урахуванням гелію та молекулярного водню, що ми приймаємо в цій роботі. Сума (3) і (6) дає баріонну масу галактики:

$$M_{bary} / (10^{10} M_{Sun}) = d^2 \{2.138 \cdot \alpha \cdot dex(2 - 0.4 \cdot m_{21}) + \chi \cdot dex[0.4 \cdot (M_{K,Sun} - K_s^c)]\} \quad (7)$$

Відстань d визначаємо за законом Габбла: $d = V_{3k} / H_0$, де V_{3k} є радіальною швидкістю в системі мікрохвильового випромінювання. Сталу Габбла приймаємо $H_0 = 72$ км/с/Мпк. Ми використовуємо скориговану радіовеличину m_{21}^c із HyperLEDA.

Логарифм баріонної маси, $y \equiv \log(M_{bary} / M_{Sun})$, апроксимуємо регресією Таллі – Фішера:

$$y = C_1 + C_2 \cdot \log W_c \quad (8)$$

Тут $W_c = 2V_{rot} / (1 + V_h / c)$ – скоригована з урахуванням космологічного розширення "ширина" радіолінії 21 см, що фактично визначається подвійною максимальною швидкістю обертання V_{rot} із HyperLEDA; V_h – геліоцентрична променева швидкість галактики; c – швидкість світла.

Після калібрування (8), тобто обчислення коефіцієнтів C_i (наприклад, за методом найменших квадратів), ми маємо спосіб для оцінки "правильної" баріонної маси галактики – БЗТФ:

$$M_{bary} / M_{Sun} = dex(C_1 + C_2 \cdot \log W_c) \quad (9)$$

Умова $\alpha = 0$ приводить до зоряної ЗТФ, яку ми називаємо відповідною баріонній ЗТФ з $\alpha = 1.4$.

4 Баріонні двох-параметричні залежності Таллі – Фішера. У табл. 1 ми подаємо результати калібрування двопараметричних БЗТФ і (для порівняння) ЗЗТФ. Крім значень коефіцієнтів ми наводимо також їхні похибки та параметри значущості за Фішером (у дужках). У першому рядку табл. 1 подано характеристики залежностей для вихідної вибірки $N=2988$. Як можна побачити, БЗТФ для цієї вибірки має стандартне відхилення $\sigma_{BTF} = 0.300$, що на 14 % менше порівняно з σ_{STF} відповідної ЗЗТФ.

Вважаючи, що погана якість залежності обумовлена похибками вимірювань, ми провели процедуру очищення даних за аналогією того, як це робилося для "звичайних" ЗТФ у роботах [2, 4, 5]. Послідовне вилучення за правилом 3-сигм до збіжності процесу привело до результатів, поданих у другому рядку табл. 1, причому, оскільки очищення проводиться з використанням різних регресій, кількість галактик у вибірках різна: $N=2790$ і $N=2831$ для "почищених" ЗЗТФ і БЗТФ, відповідно. У дужках у других стовпчиках у табл. 1 наведено покращення залежностей після очищення. Для почищених вибірок також БЗТФ більш точна: значення σ_{BTF} на 5 % менше за σ_{STF} . Зауважимо, що якщо залежностям приписати формальну відносну точність $\Delta d / d \approx (\ln 10 / 2) \cdot \sigma$ визначення відстаней (за аналогією до "звичайних" ЗТФ), то для БЗТФ з $\sigma_{BTF} = 0.196$ для почищеної вибірки маємо значення $\Delta d / d \approx 22.5 \%$, що близько до відносної точності визначень відстаней для великих вибірок на основі "звичайних" ЗТФ.

Відзначимо, що коефіцієнт C_2 нахилу залежності дещо більший у зоряних залежностей, що цілком очікувано: через недооцінку газової складової слабкий кінець зоряної залежності має більший нахил, що збільшує нахил єдиної (гіганти плюс карлики) залежності. Однак нахил у всіх випадках є далеким від "теоретичного" значення $C_2 = 4$.

Таблиця 1

Коефіцієнти двох-параметричних ЗТФ і БЗТФ

N	σ_{STF}	C_1	C_2	N	σ_{BTF}	C_1	C_2
Зоряні ($\chi = 1, \alpha = 0$)				Баріонні ($\chi = 1, \alpha = 1.4$)			
2988	0.349	4.432±0.092 (2312)	2.451±0.037 (4354)	2988	0.300	5.302±0.079 (4498)	2.162±0.032 (4604)
2790	0.207 (41%)	2.955±0.064 (2121)	3.039±0.026 (13961)	2831	0.196(35%)	4.134±0.059 (4988)	2.627±0.023 (12507)

5 Баріонні шести-параметричні залежності Таллі – Фішера. Далі ми пробуємо покращити якість БЗТФ і ЗТФ шляхом введення в (8) додаткових регресорів. Досвід використання інфрачервоних багато-параметричних ЗТФ підказує використати замість (8) таку залежність [2]:

$$y = C_1 + C_2 \cdot \log W_c + C_3 \cdot Jhl + C_4 \cdot Jcdex + C_5 \cdot (J^c - K_s^c) + C_6 \cdot \log r25 \equiv \sum_i C_i x_i^j \quad (10)$$

Перші два доданки у правій частині (10) – основні регресори ЗТФ (8). Решта чотири доданки мають відслідковувати кореляції баріонної (зоряної) маси з ефективною поверхневою яскравістю Jhl , індексом концентрації $Jcdex$ (відношенням радіусів, усередині яких зосереджено 3/4 і 1/4 світла галактики), кольором $J^c - K_s^c$, десятковим логарифмом відношення осей $\log r25$. Тут J^c і K_s^c – скориговані за поглинання в Галактиці видимі J і K_s величини:

$J^c = J - 0.207 \cdot Ag$, $K_s^c = K_s - 0.084 \cdot Ag$, відповідно до [16], Ag – поглинання в Галактиці у В-смузі. Внутрішнє поглинання ми не враховуємо, оскільки варіювання його значень для галактик "із ребра", якими є 2MFGC-галактики, є значно меншим ніж у вибірках довільно нахилених галактик, а крім того в HyperLEDA внутрішнє поглинання є для багато меншої кількості об'єктів, що суттєво зменшує вибірку. Величини $\log r25$, Ag , $m21c$ ми брали з HyperLEDA; J , K_s , Jhl , $Jcdex$ – із каталогу [1].

У табл. 2 ми подаємо результати калібрування баріонних і зоряних (масових) шестипараметричних ЗТФ. Структура таблиці подібна такій при розгляді двопараметричних залежностей.

Чищення вибірок проводилося, як і у випадку двопараметричних залежностей, із прийняттям відповідної форми регресії. При цьому почищені вибірки мають покращення значення σ , що вказане в дужках у другому стовпчику таблиць; для двовимірних регресій воно є більшим (41 % і 35 % проти 28 % і 27 %).

Для вихідної вибірки $N=2988$ результати обчислення дали $\sigma_{BTF} = 0.268$ для шестипараметричної БЗТФ та $\sigma_{STF} = 0.288$ для шестипараметричної ЗТФ. Очищення привело до вибірки $N=2854$ із тим саме $\sigma_{BTF} = 0.196$, як і для очищеної двох-параметричної баріонної залежності, і до вибірки $N=2842$ із тим саме $\sigma_{STF} = 0.207$, як і для очищеної зоряної двох-параметричної залежності. Тобто наш метод очищення вибірок за значенням 3-сигма привів до певних значень дисперсії незалежно від збільшеної кількості регресорів у виразі (10), але за різних довжин вибірок.

Таблиця 2

Коефіцієнти шести-параметричних ЗТФ і БЗТФ

N	$\sigma_{BTF}, \sigma_{STR}$	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
Зоряні ($\chi = 1, \alpha = 0$)							
2988	0.288	9.703±0.218 (1973)	1.654±0.038 (1941)	-0.2166±0.0086 (638)	0.0271±0.0055 (24)	0.712±0.039 (329)	-0.166±0.034 (24)
2842	0.207 (28%)	6.894±0.180 (298)	2.331±0.033 (5018)	-0.1375±0.0067 (419)	0.0002±0.0041 (0.03)	0.474±0.030 (255)	-0.157±0.026 (38)
Баріонні ($\chi = 1, \alpha = 1.4$)							
2988	0.268	8.202±0.203 (1632)	1.620±0.035 (2154)	-0.1214±0.0080 (232)	0.0392±0.0052 (58)	0.487±0.036 (178)	0.073±0.032 (5.2)
2854	0.196 (27%)	5.479±0.173 (1004)	2.264±0.032 (5161)	-0.0471±0.0064 (54)	0.0132±0.0039 (11)	0.309±0.028 (123)	0.103±0.024 (18)

Із табл. 1 і 2 також бачимо, що

- введення чотирьох додаткових регресорів у БЗТФ і ЗТФ для вихідної вибірки $N=2988$ покращує σ_{BTF} на 11 % і σ_{STR} на 17.5 %;

- регресор з індексом концентрації у шестипараметричній ЗТФ для почищеної вибірки є незначущим на відмінність від шестипараметричної БЗТФ;

- у всіх випадках (і для дво-, і для шестипараметричних залежностей) БЗТФ ($\alpha = 1.4$) мають менший розкид порівняно з відповідними ЗТФ ($\alpha = 0$);

- зоряна 2-параметрична регресія має найбільший нахил серед наведених у таблицях регресій, $C_2 = 3.04 \pm 0.03$, але далекий від теоретичного значення $C_2 = 4$.

6 Порівняння з іншими визначеннями баріонних залежностей. У цьому розділі ми обмежимося наведенням декількох найбільш відомих виразів для баріонних залежностей, які показують різноманітність визначень. Їхня неузгодженість обумовлена складом вибірки (домінування зоряної або газової складових), вибору аргументу залежності (ширини лінії 21 см на певному рівні від пікового значення, максимального значення на кривій обертання, значення на плоскій ділянці кривої обертання тощо).

Зауважимо, що перші теоретичні обґрунтування ЗТФ ґрунтувалися на припущенні віріальної рівноваги в межах віріального радіуса R_{vir} , тоді $M_{vir} \propto V_{vir}^3$, тобто очікувалося, що $C_2 = 3$, хоча M_{vir}, V_{vir} не є спостережними величинами. Більш обґрунтованим теоретичним значенням виявилось $C_2 = 4$.

МакГог [9], априорі набуваючи значення нахилу $C_2 = 4$ та ототожнюючи масу диска галактики з її баріонною масою, подав баріонну залежність у вигляді: $M_{bary} / M_{sun} = A \cdot (V_{flat})^4$, де $A = 50$ і V_{flat} у км/с є значення на плоскій ділянці кривої обертання. Згідно з автором залежність діє на п'яти порядках діапазону мас. Зауважимо, що використання V_{flat} зменшує розкид залежності [11], але і зменшує вибірку. Пізніше значення коефіцієнта A було уточнене: $A = 47 \pm 6$ [17].

Белл і де Йонг [18] із використанням значення V_{flat} знайшли баріонне співвідношення у вигляді $M_{bary} \propto V_{flat}^{3.5 \pm 0.2}$, тобто нахил $C_2 = 3.5 \pm 0.2$. При цьому випадкова та систематична похибки оцінювалися в 0.2 кожна.

Старк та інші в роботі [19] прокалібрували БЗТФ, використовуючи газ-домінантні галактики. Було знайдено, що нахил БЗТФ є близьким до теоретичного, $C_2 = 3.94 \pm 0.07$ (r) ± 0.07 (s), і нуль-пункт $C_1 = 1.79 \pm 0.26$ (r) ± 0.25 (s), де r і s – випадкова та систематична складові похибки. У припущенні дії цього співвідношення в галузі зоре-домінантних галактик воно було використано для прогнозування зоряних мас зоре-домінантних галактик. Така оцінка, якщо є правильним припущення, не залежить від способу оцінки зоряних мас за (14) світністю галактик.

Ґрунтуючись на точній фотометрії, здійсненій Далкентон і Бернштайн [20], за 17-тю ультра-плоскими галактиками з оцінками водневої маси була побудована в [21] БЗТФ:

$$\log(M_{bary} / M_{sun}) = (2.78 \pm 0.23) \cdot \log V_{rot} + 4.44 \pm 0.47 \quad (12)$$

зі стандартним відхиленням $\sigma_{BTF} = 0.172$. Отримане в цій роботі значення $\sigma_{BTF} = 0.196$ для почищених вибірок галактик із 2MASS фотометрією поступається за значенням σ_{BTF} даним із точною фотометрією на 14 %. Зазначимо, що нахил залежності (12) дещо більший за визначення цієї роботи для двопараметричної регресії ($C_2 = 2.63 \pm 0.02$), але з урахуванням похибки в (12) можна стверджувати про узгодженість цих двох визначень (хоча (12) отримано при $\alpha = 1.33$, ураховано лише водень).

7 Висновки. Ми прокалібрували баріонні залежності Таллі – Фішера та для порівняння зоряні (масові) залежності Таллі – Фішера на вибірках галактик із каталогу 2MFGC. Результати калібрування наведені в табл. 1. При цьому перед калібруванням ми почистили вибірки галактик за правилом 3-сигм у декілька етапів до сходження процесу вилучення.

За аналогією зі "звичайними" інфрачервоними залежностями Таллі – Фішера (тобто залежностями абсолютних зоряних величин від ширин радіолінії 21 см або від швидкостей обертання галактик) ми пробуємо покращити залежності введенням додаткових регресорів вигляду (10) замість (8). Результати калібрування залежності (10) наведені в табл. 2. Виявилось, що введення додаткових регресорів у баріонну й зоряну (масову) ТФ-залежності для вихідної вибірки $N=2988$ покращує σ_{BTF} на 11 % і σ_{STR} ; на 17.5 %. Однак почищені баріонна та зоряна (масова) ТФ-залежності характеризуються тими саме значеннями $\sigma_{BTF} = 0.196$ і $\sigma_{STF} = 0.207$, що й двопараметричні регресії вигляду (8). Можливо цей факт говорить на користь використання звичайних лінійних двопараметричних баріонних залежностей і зайвість використання багато-параметричних залежностей. Однак більші розмірності почищених вибірок дають можливість оцінювати баріонні й зоряні маси для більшої кількості галактик: $N=2854$ замість $N=2813$ для баріонної та $N=2842$ замість $N=2790$ для зоряної масової залежності. Порівняння параметрів розкиду баріонної залежності на почищеній вибірці з іншими визначеннями виявляє сумісність із залежністю для надтонких дискових галактик [21]. У цій роботі на наших вибірках ми підтверджуємо для наших даних відомий факт, що баріонні залежності мають менший розкид, ніж зоряні масові залежності.

Список використаних джерел

1. Mitronova S. N., Karachentsev I. D., Karachentseva V. E. et al. The 2MASS-selected Flat Galaxy Catalog / S. N. Mitronova, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, T. H. Jarrett, Yu. N. Kudrya // Bull. Spec. Astrophys. Obs. – 2003. – Vol. 57. – P. 5–163.
2. Karachentsev I. D., Kudrya Yu. N., Karachentseva V. E., Mitronova S. N. Peculiar velocities of 3000 spiral galaxies from the 2MFGC catalog / I. D. Karachentsev, Yu. N. Kudrya, V. E. Karachentseva, S. N. Mitronova // Astrophysics. – 2006. – Vol. 49. – P. 450–461.
3. Karachentsev I. D., Kudrya Yu. N., Karachentseva V. E., Mitronova S. N. VizieR On-line Data Catalog, 03/2011.
4. Kudrya Yu. N., Karachentseva V. E., Karachentsev I. D. et al. Distances and peculiar velocities of spiral galaxies in the 2MFGC and SFI++ samples / Yu. N. Kudrya, V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev // Astrophysics. – 2009. – Vol. 52, N3. – P. 335–349.
5. Кудря Ю. Квадратичні багатопараметричні залежності Таллі – Фішера для галактик каталогу 2MFGC / Ю. Кудря // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2013, №1 (50). – С. 17–23.
6. Кудря Ю. Мультипольний аналіз поля швидкостей галактик каталогу 2MFGC. // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2016, №1 (53). – С. 15–24.
7. Кудря Ю., Юдко О. Причини відхилень від залежності Таллі – Фішера галактик з каталогу 2MFGC / Ю. Кудря, О. Юдко // Вісн. Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2012, № 48. – С. 4–9.
8. McGaugh S. S., Schombert J. V., Bothum G. D., Block W. J. G. The baryonic Tully-Fisher relation / S. S. McGaugh, J. V. Schombert, G. D. Bothum, W. J. G. Block // Astroph. J. – 2000. – Vol. 533. – P. L99–L102.
9. McGaugh S. S. The baryonic Tully-Fisher relation of galaxies with extended rotation curves and the stellar mass of rotating galaxies / S. S. McGaugh // Astrophys. J. – 2005. – Vol. 632. – P. 859–871.
10. McGaugh S. S., Schombert J. M. Weiting galaxy disks with the baryonic Tully-Fisher relation / S. S. McGaugh, J. M. Schombert // Astroph. J. – 2015. – Vol. 802. – article id. 18 (16pp).
11. Verheijen M. A. W. The Ursa Major cluster of galaxies. V. HI rotation curve shapes and the Tully-Fisher relations / M. A. W. Verheijen // Astroph. J. – 2001. – Vol. 563. – P. 694–715.
12. Lelli F., McGaugh S. S., Schombert J. M. The small scatter of the baryonic Tully-Fisher relation / F. Lelli, S. S. McGaugh, J. M. Schombert // Astroph. J. – 2016. – Vol. 816. – L14 (6pp).

13. Mitronova S. N., Korotkova G. G. Visual survey of 18020 objects from the 2MFGC catalog / S. N. Mitronova, G. G. Korotkova // *Astroph. Bulletin.* – 2015. – Vol. 70, N 1. – P. 24–32.
14. Jarrett T. H., Chester T., Cutri R. et al. 2MASS eXtended Source Catalog: overview and algorithms / T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri // *Astroph. J.* – 2000. – Vol. 119. – P. 2498–2531.
15. Bell E. F., McIntosh D. H., Katz N., Weinberg M. D. The optical and near-infrared properties of galaxies. I. Luminosity and stellar mass functions / E. F. Bell, D. H. McIntosh, N. Katz, M. D. Weinberg // *Astroph. J. Suppl. Ser.* – 2003. – Vol. 149. – P. 289–312.
16. Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M. Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwave background radiation foregrounds / D. J. Schlegel, D. P. Finkbeiner, M. Davis // *Astrophys. J.* – 1998. – Vol. 500. – P. 525–553.
17. McGaugh S. S. The baryonic Tully-Fisher relation of gas-rich galaxies as a test of Λ CDM and MOND / S. S. McGaugh // *Astron. J.* – 2012. – Vol. 143. – article id. 40 (15pp).
18. Bell E. F., de Jong R. S. Stellar mass-to-light ratios and the Tully-Fisher relation / E. F. Bell, de Jong R. S. // *Astroph. J.* – 2001. – V. 550. – P. 212–229.
19. Stark D. V., MacGaugh S. S., Swaters R. A. A first attempt to calibrate baryonic Tully-Fisher relation with gas-dominated galaxies / D. V. Stark, S. S. MacGaugh, R. A. Swaters // *Astron. J.* – 2009. – Vol. 138. – P. 392–401.
20. Dalcanton J. J., Bernstein R. A. A structural and dynamical study of late-type, edge-on galaxies. I. Sample selection and imaging / J. J. Dalcanton, R. A. Bernstein // *Astron. J.* – 2000. – Vol. 120. – P. 203–243.
21. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Yu. N. Ultra-Flat Galaxies Selected from RFGC Catalog. II. Orbital Estimates of Halo Masses / I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, Yu. N. Kudrya // *Astrophysical Bulletin.* – 2016. – Vol. 71, № 2. – P. 129–138.

Надійшла до редколегії 25.08.17

Ю. Кудря, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.

Астрономическая обсерватория
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

БАРИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТАЛЛИ – ФИШЕРА ДЛЯ ГАЛАКТИК ИЗ КАТАЛОГА 2MFGC

Представлены барионные и звездные (массовые) зависимости Талли – Фишера (ТФ), прокалиброванные на выборках галактик из каталога 2MFGC, имеющих оценки водородных масс. Прокалиброваны зависимости как для исходной выборки галактик объемом $N=2988$, сформированной по данным HyperLEDA и каталога 2MFGC, так и зависимости на основе определенным образом почищенных подвыборок. Двухпараметрическая барионная ТФ-зависимость для почищенной выборки объемом $N=2831$ и соответствующая ей звездная зависимость для почищенной выборки объемом $N=2790$ характеризуются стандартными отклонениями $\sigma_{\text{BTF}} = 0.196$ и $\sigma_{\text{STF}} = 0.207$, соответственно. По аналогии с "обычными" инфракрасными зависимостями Талли – Фишера (то есть зависимостями абсолютных звездных величин от ширины радиополосы 21 см или от скорости вращения галактик) мы пробуем улучшить зависимости введением четырех дополнительных регрессоров (поверхностную яркость, индекс концентрации, цвет и отношение осей). Оказалось, что введение дополнительных регрессоров в барионную и звездную зависимости ТФ для исходной выборки $N=2988$ улучшает σ_{BTF} на 11% и σ_{STR} на 17.5%. Оказалось также, что шестипараметрические барионная и звездная зависимости ТФ характеризуются теми же значениями σ_{BTF} и σ_{STF} , что и двухпараметрические регрессии при несколько больших объемах почищенных выборок, то есть мультипараметрические зависимости дают возможность оценивать барионные и звездные массы для несколько большего числа галактик на том же уровне точности. В данной работе на наших выборках мы подтверждаем известный факт, что барионные зависимости имеют меньший разброс по сравнению с соответствующими звездными зависимостями. Двухпараметрическая барионная зависимость на почищенной выборке оказалась совместной с зависимостью для сверхтонких дисковых галактик.

Yu. Kudrya, Ph.D., senior researcher
Astronomical Observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv

BARYON TULLY-FISHER RELATION FOR GALAXIES FROM THE 2MFGC CATALOG

Baryon and stellar (mass) Tully-Fisher (TF) relations calibrated on samples of galaxies from the 2MFGC catalog, having hydrogen mass estimates, are presented. The relations have been calibrated for both the initial sample of galaxies with the size $N = 2988$, formed from data of HyperLEDA and the 2MFGC catalog, and the relations based on subsamples cleaned in certain way. The two-parameter baryon TF relation for the cleaned sample with size $N = 2831$ and the corresponding stellar relation for the cleaned sample of size $N = 2790$ are characterized by standard deviations $\sigma_{\text{BTF}} = 0.196$ and $\sigma_{\text{STF}} = 0.207$, respectively. By analogy with the "usual" infrared Tully-Fisher relations (that is, relations of absolute stellar magnitudes on the width of the 21-cm radio-line or on the rotation velocity of galaxies), we try to improve the relations by introducing four additional regressors (surface brightness, concentration index, color and axes ratio). It appeared that the introduction of additional regressors into the baryon and stellar TF relations for the initial sample $N = 2988$ improves σ_{BTF} by 11% and σ_{STR} by 17.5%, respectively. It also appeared that the six-parameter baryon and stellar TF relations are characterized by the same values σ_{BTF} and σ_{STR} as the two-parameter regressions for somewhat larger sizes of cleaned samples, that is, the multiparameter relations make it possible to estimate the baryon and stellar masses for a somewhat larger number of galaxies at the same level of accuracy. In this paper, on our samples, we confirm the known fact that baryon TF relations have a smaller scatter in comparison with the corresponding stellar relations. The two-parameter baryon NF relation on the cleaned sample appeared to be consistent with the relation for hyperfine disk galaxies.

УДК 524.8

V. Zhdanov, Dr. Sci., Prof., S. Dylda, stud. phys. fac.
Taras Shevchenko National University of Kyiv

HYDRODYNAMIC COSMOLOGICAL MODEL AND THE "COSMIC DOOMSDAY"

We discuss the well-known "Big Rip" cosmological solutions in connection with a correspondence between hydrodynamic (H) and scalar field (SF) models of the dynamical dark energy. Namely, we compare a minimally coupled self-interacting SF and the H-model with a barotropic equation of state in the homogeneous isotropic Universe. In general case these models are not fully equivalent, though for some SF potentials and some regimes of expansion they yield the same evolution of the energy density and the scale factor as functions of time. We consider examples of the SF potentials, that provide such a restricted equivalence in case of linear H-model equations of state; however, we show that in case of the canonical SF Lagrangians (with the standard kinetic term) there is no room for the Big Rip.

Introduction. In 2003 Caldwell et al [1] described an example of a cosmological evolution dubbed Big Rip, when the energy density diverges in finite time. The reason for such a divergence owes to special equation of state (EOS) $p = p(e) = we$ with the EOS parameter $w < -1$. More generally, this is related with the existence of the phantom line in the EOS corresponding to $p + e = 0$. The interest to this situation has recently grown in view of the results of PLANK [2] that

© Zhdanov V., Dylda S., 2017