

УДК 389.14:53.083

С.Ф. Левин

Московский институт экспертизы и испытаний, Москва, Россия

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ШКАЛЫ КОСМОЛОГИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ

По наблюдаемым красным смещениям и звездным величинам 67 галактик, 172 радиогалактик и 201 квазара на основе нелинейной интерполяционной модели с разрывом 2-го рода и поправки Арпа–Трюмплера за собственное красное смещение построена шкала космологических расстояний. Шкала непрерывна до расстояния 13,5 млрд. св. лет и соответствует исправленным данным в диапазоне от $7,5 \cdot 10^{-4}$ до 9,24 млрд. св. лет при отклонениях в пределах $\pm 7,0 \cdot 10^{-14}$ по космологической составляющей красного смещения. В пределах шкалы космологическая составляющая красного смещения всех рассмотренных объектов изотропна.

Ключевые слова: красное смещение, интерполяционная модель, поправка Арпа–Трюмплера, изотропия.

Введение

Определение расстояний до внегалактических объектов как решение важнейшей измерительной задачи космологии длительное время связывалось с идентификацией характеристик положения диаграммы Хаббла [1] для объектов разных морфологических типов – галактик, радиогалактик и квазаров (рис. 1). Характеристики положения диаграммы для них отличаются нуль–пунктом и имеют равные параметры наклона – 0,2. При этом выборки данных о галактиках, радиогалактиках и квазарах длительное время рассматривались как статистически неоднородная совокупность, а единого способа определения расстояний таких порядков не было.

Обнаружение нелинейности [2] и анизотропии диаграммы Хаббла [3–5], эффекта группирования красных смещений радиогалактик и квазаров [6–9] при учете их собственного красного смещения [10] уточнило в отношении наблюдаемости математическую модель измерительной задачи идентификации шкалы космологических расстояний [11].

В статье рассмотрена измерительная задача статистической идентификации шкалы космологических расстояний по наблюдаемым звездным величинам m , красным смещениям z с поправкой Арпа–Трюмплера на собственное красное смещение z_0 [10] и угловым координатам 67 галактик Местного объема [12], 172 радиогалактик и 201 квазара [13] при интерпретации данных на основе однопараметрической интерполяционной модели при альтернативной 2-параметрической модели Фридмана–Маттига [8].

Основной материал

Измерительная задача идентификации закона красного смещения. Воспользуемся тем, что в соотношении для наблюдаемого красного смещения [14]

$$z = (1 + z_0) \cdot (1 + z_K) - 1, \quad (1)$$

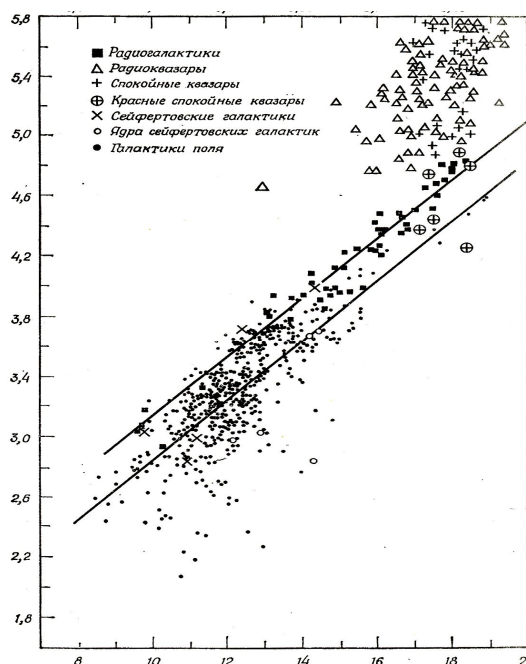


Рис. 1. Диаграмма Хаббла [1, рис. 35].

Зависимость между красным смещением $lg(z)$ и видимой звездной величиной m , исправленной за эффект апертуры, поглощение света в Галактике и К-поправку, для галактик (нижняя линия), радиогалактик и ярчайших галактик скоплений (средняя линия), квазаров (верхняя линия, добавлена – авт.).

где z_K – космологическая составляющая, гравитационную составляющую можно заменить собственной

$$z_0 = K \cdot 10^{-0,2 \cdot M}, \quad (2)$$

где $K = 2,6 \cdot 10^{-6}$ [10], M – абсолютная звездная величина объекта, и рассмотрим две модели:

$$z_K = q_0 \cdot (H_0 / c) \cdot D_L - (q_0 - 1) \cdot [\sqrt{1 + 2 \cdot (H_0 / c) \cdot D_L} - 1]; \quad (3)$$

$$z_K = (H_0 / c) \cdot D_L \cdot [1 - (H_0 / c) \cdot D_L]^{-1}, \quad (4)$$

где $H_0 = (72,4 \pm 3,6)$ км·с⁻¹·Мпс⁻¹ – постоянная Хаббла [15], c – скорость света, q_0 – параметр замедления,

$$D_L = 10^{-5+0,2 \cdot (m-M)} \quad (5)$$

фотометрическое расстояние в мегапарсеках, Мпс.

Следует заметить, что оценка параметра замедления в 1956 г. составила $q_0 = 2,6 \pm 0,8$ [16], в 1972 г. – $q_0 = 0,03 \pm 0,40$ [17], к 2006 г. – $q_0 = -0,34 \pm 0,16$ [18], а по данным [19] – понизилась до $q_0 = -0,64^{+0,04}_{-0,06}$.

Так параметр q_0 стал параметром ускорения, повторив историю дрейфа постоянной Хаббла [8].

Модели Фридмана–Маттига (3) с поправкой на собственное красное смещение (2) соответствует

$$(1 + K \cdot 10^{5-0,2m} \cdot D_L) \cdot \{1 + q_0 \cdot (H_0 / c) \cdot D_L - (q_0 - 1) \cdot [\sqrt{1 + 2 \cdot (H_0 / c) \cdot D_L} - 1]\} = 1 + z. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) при заданных значениях q_0 может быть получено для каждого источника. Так, при $q_0 = 1$ (закон Хаббла) уравнение имеет вид

$$(1 + K \cdot 10^{5-0,2m} \cdot D_L) \cdot [1 + \frac{H_0}{c} \cdot D_L] = 1 + z;$$

при $q_0 = +0,5$ –

$$\frac{1 + K \cdot 10^{5-0,2m} \cdot D_L}{2} \cdot \left\{ 1 + \frac{H_0}{c} \cdot D_L + \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{H_0}{c} \cdot D_L} \right\} = 1 + z;$$

при $q_0 = 0$ –

$$(1 + K \cdot 10^{5-0,2m} \cdot D_L) \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{H_0}{c} \cdot D_L} = 1 + z;$$

при $q_0 = -0,5$ –

$$\frac{1 + K \cdot 10^{5-0,2m} \cdot D_L}{2} \cdot \left[3 \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{H_0}{c} \cdot D_L} - \frac{H_0}{c} \cdot D_L - 1 \right] = 1 + z.$$

Решение этих уравнений относительно $z_K(D_L)$ может быть сведено к решению уравнений не выше 4-й степени, отличающихся средним абсолютным отклонением (САО) случайной составляющей погрешности неадекватности d (рис. 2).

При отрицательных значениях параметра замедления действительных корней уравнения (6) может и не быть, например, при $q_0 = -0,5$ для квазаров 5C 02.56 и QS 1108+285.

Лучшие результаты для модели Фридмана–Маттига (3) с поправкой (2) дал закон Хаббла – случайная составляющая практически исчезла (рис. 3). Необходимость в параметре замедления отпала, но полученная шкала с оценкой «возраста Вселенной» ($13,77 \pm 0,13$) млрд. лет [20] не согласуется.

Модель (4), полученная автором в 1966 году путем свертки модели Ф. Хойля по данным А. Сендэйджа [8, 21], дает еще более точное описание данных измерений [13] и более точную шкалу расстояний до квазаров (рис. 4), радиогалактик и галактик:

$$D_L = \frac{z}{(1 + z) \cdot (H_0 / c) + K \cdot 10^{5-0,2m}}. \quad (7)$$

Разрыв 2-го рода модели (4) в точке $D_L = c/H_0$ согласуется с оценкой «возраста Вселенной» [21], а выборка данных [13] ограничена по $z_{\text{макс}}$ радиусом 9,24 млрд. световых лет.

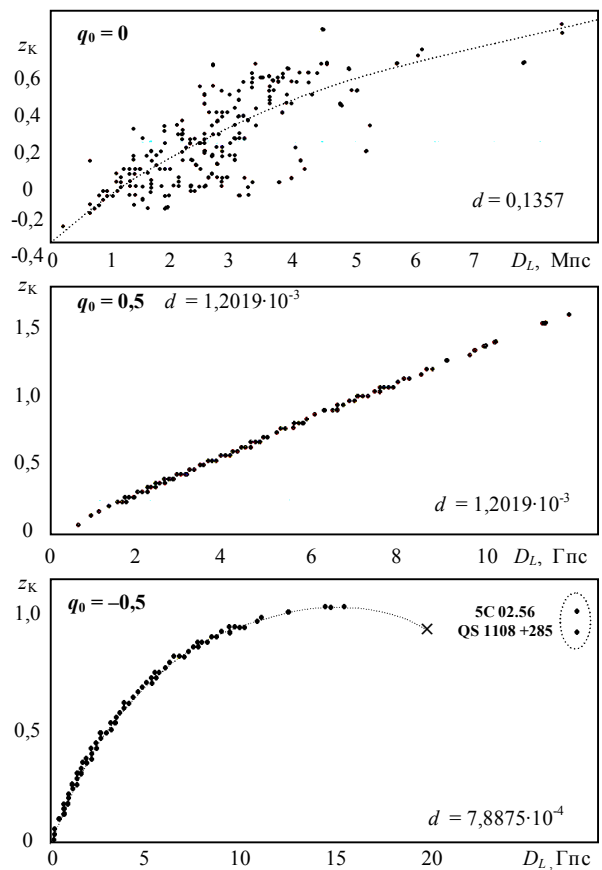


Рис. 2. Решения уравнения (6) для квазаров

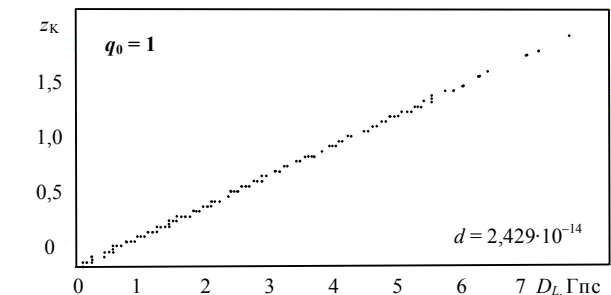


Рис. 3. Закон Хаббла с поправкой Арпа–Трюмплера

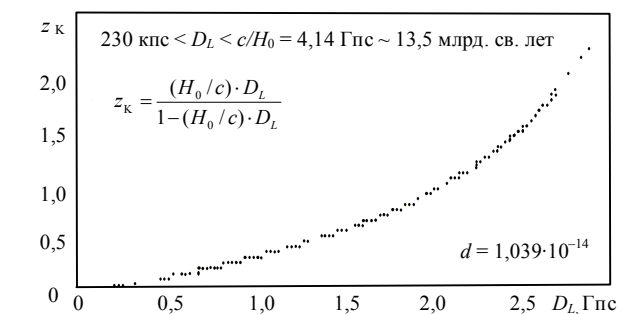


Рис. 4. Интерполяционная модель космологического красного смещения с поправкой Арпа–Трюмплера

С учетом границ размерностной (по средствам измерений световых величин [22] и длин волн [23]), параметрической и структурной составляющих погрешность неадекватности [24] шкалы (7) в единицах c/H_0 характеризуется интервалом неопределенности $\Delta_{\text{НА}} = \pm 0,011 \pm 0,051 \pm 9,41 \cdot 10^{-14}$.

Для выборки скоплений галактик с красными

смещениями $z = 0,004...0,140$ и звездными величинами $m = 12,5...21,0$ [25] шкала (7) характеризуется $d = 5,358 \cdot 10^{-15}$ против $d = 1,563 \cdot 10^{-14}$ закона Хаббла. При этом скопление в Virgo оказывается более чем в 4 раза ближе, а остальные – в 4-7 раз дальше.

Для выборки $N = 67$ галактик Местной группы с $z > 1,7 \cdot 10^{-3}$ и интегральными звездными величинами 7,63...18,13 в фильтре В [12] шкала (7) характеризуется $d = 7,524 \cdot 10^{-15}$ при $D_L = 0,23...6,24$ Мпс.

Физическая интерпретация закона космологического красного смещения. Известные исследователи квазаров Джеффри и Маргарет Бербиджи рассматривали красное смещение как эффект Доплера и гравитационный эффект:

$$z_v = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 \text{ и } z_g = \sqrt{1 - \frac{2GM_0}{r_0 \cdot c^2}} - 1,$$

где v – скорость радиального движения объекта либо газа внутри него; G – фундаментальная гравитационная постоянная; M_0 и r_0 – соответственно масса и геометрический радиус объекта [14].

Если полагать, что собственное красное смещение квазаров и радиогалактик связано с гравитационным эффектом, то космологической составляющей, связанной с эффектом Доплера, должна соответствовать зависимость между фотометрическим расстоянием и скоростью его изменения

$$v = c \cdot \frac{(H_0/c) \cdot D_L - 0,5 \cdot (H_0/c)^2 \cdot D_L^2}{1 - (H_0/c) \cdot D_L + 0,5 \cdot (H_0/c)^2 \cdot D_L^2},$$

где при $D_L = c/H_0 = R_0$ ускорение падает до нуля, а скорость достигает c . Но тогда наблюдатель должен находиться в «центре Большого взрыва» [14].

В этом отношении более правдоподобной оказывается гипотеза П. Дирака (ему также принадлежит и гипотеза об изменении гравитационной постоянной с течением времени) о красном смещении как «старении» фотонов – следствии потери его энергии на преодоление сопротивления среды, в которой он распространяется.

Не трудно показать, что соответствующее космологическому красному смещению изменение частоты $\Delta v = v_0 \cdot (H_0/c) \cdot D_L$ в этом случае пропорционально фотометрическому расстоянию, а распространение излучения ограничено расстоянием $D_{L \text{ макс}} = c/H_0 = R_0$. Но тогда точность модели (4) с поправкой (2) в красном смещении квазаров и радиогалактик эффекту Доплера места не оставляет.

Исключением является часть галактик Местной группы в радиусе 2,4 Мпс с фиолетовым смещением в спектрах излучения [25–27]. Поэтому выборка галактик ограничена $cz > 500 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ [25].

Ранее считалось, что гипотеза П. Дирака «сразу опровергается, ибо взаимодействие должно носить характер рассеяния... При этом, вообще говоря, должно меняться и направление кванта, что должно

привести к размыванию изображения источника. Такого размывания на опыте нет» [28].

Но «размывания изображения» и не должно быть, т.к. из-за любого рассеяния на космологических расстояниях квант не попадет в поле зрения наблюдателя. И в [29] этот аргумент уже опущен.

Это значит, что в случае справедливости гипотезы П. Дирака взаимодействие кванта со средой распространения не носит характера рассеяния, а изотропия космологической составляющей красного смещения снимает целый ряд парадоксов, требующих привлечения непроверяемых гипотез.

Шкала (7) уменьшает известные оценки абсолютных светимостей квазаров и расстояний до них. Так, для одного из первых обнаруженных и ближайших квазаров 3C 273 ($m = 12,80$ и $z = 0,158$ [13]) оценка абсолютной звездной величины понижается с «–26,6» до «–23,2» (почти в 23 раза), а оценка расстояния ~3 млрд. световых лет – в 6 раз.

Тем не менее, по-прежнему отпадает и «факт обнаружения» собственного углового движения квазара 4C 39.25 [30] из-за превышения скорости света.

Попадание излучения квазаров с большими красными смещениями в инфракрасную часть спектра (ULAS J112001.48+064124.3 $z = 7,085$; CFHQS J2329–0301 $z = 6,4$) не позволяет использовать шкалу (7) непосредственно, и следует дополнительно учитывать еще и эффект Ганна–Питерсона [13]. Однако понижение оценок абсолютных звездных величин и масс квазаров уже не требует пересмотра существующих сценариев их эволюции [31].

Анизотропия же красного смещения квазаров определяется неоднородностью их распределения по собственным красным смещениям – наличием в области Virgo–Leo крупнейшего структурного элемента наблюдаемой части Вселенной, а в противоположном направлении – гигантской пустоты диаметром порядка 1 Гпс в области Eridanus [8].

Заключение

По критерию минимума погрешности неадекватности более правдоподобной моделью зависимости космологического красного смещения от фотометрического расстояния с учетом поправки Арпа–Трюмплера дает не модель Фридмана–Маттига, в т.ч. и закон Хаббла, а нелинейная интерполяционная модель с разрывом 2-го рода.

Беспрецедентно высокая для космологических моделей точность полученного результата означает обнаружение изотропии космологического красного смещения уже с расстояний 0,23 Мпс, позволяющих пренебречь пекулярным эффектом Доплера.

Анизотропия наблюдаемого красного смещения представляет собой, по всей видимости, локальный эффект, обусловленный собственными красными смещениями внегалактических объектов, неод-

нородностью крупномасштабной структуры Вселенной и peculiарными движениями галактик Местной группы, в том числе и Млечного Пути.

В силу совпадения диполей анизотропии красного смещения и реликтового излучения это может означать и локальность анизотропии последнего.

Список литературы

1. Ленг К. *Астрофизические формулы. Часть 2* / К. Ленг. – М.: Мир, 1978. – 383 с.
2. Levin S.F. *Identification of interpreting models in General Relativity and Cosmology* / S.F. Levin // *Physical Interpretations of Relativity Theory: Proceedings of International Scientific Meeting PIRT-2003, Moscow: 30 June–3 July 2003*. – М., Liverpool, Sunderland, 2003. – P. 72-81.
3. Levin S.F. *On spatial anisotropy of red shift in spectrums of extragalactic sources* / S.F. Levin // *Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of XV International Meeting: Moscow, 6-9 July 2009*. Edited by M.C. Duffy et al. – Moscow: VMSTU, 2009. – P. 234-240.
4. Левин С.Ф. Измерительная задача идентификации крупномасштабной анизотропии красного смещения в спектрах излучения внегалактических источников / С.Ф. Левин // *Контрольно-измерительные приборы и системы*. – 2009. – № 6. – С. 36-37; 2010. – № 1. – С. 35-36; 2010. – № 2. – С. 36-37.
5. Левин С.Ф. Измерительная задача идентификации анизотропии красного смещения / С.Ф. Левин // *Метрология*. – 2010. – № 5. – С. 3-21.
6. Levin S.F. *Identification of red shift anisotropy on the basis of the exact decision of Mattig equation* / S.F. Levin // *Finsler Extensions of Relativity Theory: The VI International Meeting (Abstracts of reports)*. Moscow – Fryazino, Russia, 1–7 November 2010. – М.: VMSTU – RIHSGP, 2010. – P. 2.
7. Левин С.Ф. Композиционная идентификация диаграммы Хаббла для радиогалактик и квазаров / С.Ф. Левин // 14-ая Российская гравитационная конференция. Международная научная конференция по гравитации, космологии и астрофизике. 27 июня – 2 июля 2011 года, УлГПУ, Ульяновск, Россия. Сборник тезисов докладов. – Ульяновск: РГО, 2011. – С. 145.
8. Левин С.Ф. Статистические методы теории измерительных задач и классическая неопределенность / С.Ф. Левин // *Системы обработки информации: сб. науч. пр.* – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 6 (96). – С. 26-36.
9. Левин С.Ф. Анизотропия красного смещения в спектрах квазаров и радиогалактик / С.Ф. Левин // *Физика фундаментальных взаимодействий: Программа научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН, 21-25 ноября 2011 г., Москва*. – М.: ФГУП ГНЦ РФ «Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алеханова», 2011. – С. 19.
10. Arp H.C. *Red shifts of high-luminosity stars – the K effect, the Trumpler effect and mass-loss correction* / H.C. Arp // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 1992. – Vol. 258. – P. 800-810.
11. Левин С.Ф. Измерительные задачи статистической идентификации шкалы космологических расстояний / С.Ф. Левин // *Измерительная техника*. – 2011. – № 12. – С. 17-22.
12. Макаров Д.И. *Движения галактик на малых и больших масштабах: дисс. ... канд. физ.-мат. наук* /
- Д.И. Макаров. – Нижний Архыз: CAO РАН, 2000. – 180 с.
13. Ленг К. *Астрофизические формулы. Часть 1* / К. Ленг. – М.: Мир, 1978. – 448 с.
14. Бербидж Дж. *Квазары* / Дж. Бербидж, М. Бербидж. – М.: Мир, 1969. – 239 с.
15. *A Redetermination of the Hubble constant with the Hubble Space Telescope from a Differential Distance Ladder* / A.G. Riess et al. – arXiv:0905.0695v1[astro-ph.CO]. – 5 V 2009.
16. Humason M. *Red shift and magnitudes of extragalactic nebulae* / M. Humason, N. Mayall, A. Sandage // *Astronomical Journal*. – 1956. – Vol. 61. – P. 97.
17. Peach J.V. *Cosmological information from galaxies and radio galaxies*. – *External galaxies and quasi-stellar objects*. – I.A.U. Symposium. – № 44, ed. by D.S. Evans. – Dordrecht: D. Reidel, 1972.
18. *First-year Sloan digital sky Survey-II supernova results: constraints on non-standard cosmological models* / J. Sollerman et al. – arXiv:0908.4276v2[astro-ph.CO]. – 1 IX 2009.
19. Schwarz D.J. *(An)isotropy of the Hubble diagram: comparing hemispheres* / D.J. Schwarz, B. Weinhorst // *Astronomy & Astrophysics*. – 2007. – Vol. 474. – P. 717-729.
20. *Seven-year WMAP observations: Cosmological interpretation* / E. Komatsu et al. – *Astrophysical Journal Supplement*. – 16.02.2010.
21. Левин С.Ф. Оптимальная интерполяционная фильтрация статистических характеристик случайных функций в детерминированной версии метода Монте-Карло и закон красного смещения / С.Ф. Левин. – М.: НСК АН СССР, 1980. – 56 с.
22. ГОСТ 8.023–2003 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений световых величин непрерывного и импульсного излучений.
23. МИ 2060–90 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне $1 \cdot 10^{-6} \div 50$ м и длин волн в диапазоне $0,2 \div 50$ мкм.
24. Р 50.2.004–2000 ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
25. Куликовский П.Г. *Справочник любителя астрономии* / П.Г. Куликовский. – М.: Наука, 1971. – 632 с.
26. *Астрономический календарь. Постоянная часть*. – М.: Наука, 1981. – 704 с.
27. Шимбалева А.А. *Атлас звездного неба* / А.А. Шимбалева. – Мн.: Харвест, 2004. – 320 с.
28. Зельдович Я.Б. *Релятивистская астрофизика* / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков. – М.: Наука, 1967. – 656 с.
29. Зельдович Я.Б. *Строение и эволюция Вселенной* / Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков. – М.: Наука, 1975. – 736 с.
30. MacMillan D.S. *Quasar apparent proper motion observed by geodetic VLBI networks* / D.S. MacMillan. – arXiv:astro-ph/0309826v1. – 30 09 2003.
31. Ашимбаева Н.Т. *Обнаружен наиболее удаленный квазар [Электронный ресурс]* / Н.Т. Ашимбаева. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.astronet.ru/db/msg/1252797>. – 5 07 2011.

Поступила в редколлегию 12.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

ВИМІРОВАЛЬНА ЗАДАЧА СТАТИСТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ШКАЛИ КОСМОЛОГІЧНИХ ВІДСТАНЕЙ

С.Ф. Левін

По спостережуваних червоних зсувах і зоряних величинах 67 галактик, 172 радіогалактик і 201 квазара на основі нелінійної інтерполяційної моделі з розривом 2-го роду і поправки Арпа–Трюмплера за власний червоний зсув побудована

шкала космологічних відстаней. Шкала безперервна до відстані 13,5 млрд. св. років і відповідає виправленим даним в діапазоні від $7,5 \cdot 10^{-4}$ до 9,24 млрд. св. років при відхиленнях в межах $\pm 7,0 \cdot 10^{-14}$ по космологічній складовій червоного зсуву. В межах шкали космологічна складова червоного зсуву всіх розглянутих об'єктів ізотропна.

Ключові слова: червоний зсув, інтерполяційна модель, поправка Арпа–Трюмплера, ізотропія.

MEASURING PROBLEM OF STATISTICAL IDENTIFICATION FOR COSMOLOGICAL DISTANCES SCALE

S.F. Levin

On observable red shift and star sizes of 67 galaxies, 172 radio galaxies and 201 quasars on the basis of nonlinear interpolation model with rupture of 2nd sort and Arp-Trjumpler amendment for own red shift the cosmological distances scale is constructed. The scale is continuous to distance of 13,5 billion light years and corresponds to the corrected data in range from $7,5 \cdot 10^{-4}$ to 9,24 billion light years at deviations in limits $\pm 7,0 \cdot 10^{-14}$ on cosmological component of red shift. In scale limits the cosmological component of red shift for all considered objects is isotropic.

Keywords: red shift, cosmological interpolation model, Arp-Trumpler amendment, isotropy.