

ПРОГРАММА «ШКАЛА КОСМОЛОГИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ»

А. Н. КЛЕНИЦКИЙ

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия, e-mail: ant-klen@yandex.ru

Разработана программа идентификации шкалы космологических расстояний для различных моделей красного смещения в спектрах внегалактических источников по их наблюдаемым красным смещениям и звездным величинам, сопряженная с базой данных о сверхновых, радиогалактиках и квазарах. В качестве основных параметров приняты модели Фридмана–Маттига и обобщенная интерполяционная в сочетании с моделями собственного красного смещения источников.

Ключевые слова: красное смещение, модели Фридмана–Маттига и интерполяционные.

The program of identification of cosmological distance scale is developed for various models of redshift in spectra of extragalactic sources based on their observable redshifts and apparent magnitudes. The program database includes supernovae, radio galaxies and quasars. The main models are Friedmann–Mattig model and generalized interpolation model in combination with intrinsic redshift models.

Key words: redshift, Friedmann–Mattig and generalized interpolation models.

Одна из важнейших задач современной космологии – идентификация космологических моделей по данным астрофизических измерений. К их числу относится идентификация шкал космологических расстояний на основе моделей красного смещения в спектрах внегалактических источников. При этом в качестве основных параметров космологических моделей, различных вариантов которых на сегодняшний день насчитывается более сотни, приняты постоянная Хаббла H_0 и параметр ускорения q_0 [1]. Однако их оценки по данным различных исследований

имеют существенный разброс. Так, постоянную Хаббла оценивают в диапазоне $62,3 - 143,4 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ [2], а наиболее вероятное ее значение $H_0 = (74,2 \pm 3,6) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}$ [3]. В то же время оценки параметра ускорения колеблются в пределах $\pm 1,5$, а смену знака связывают с изменением темпа «расширения Вселенной» [4]. Для физического механизма красного смещения рассматриваются различные гипотезы – от «старения света» до изменения гравитационной постоянной, хотя в качестве основных обычно принимают гравитационное красное смещение, эффект Доплера и космологическое расширение Вселенной [5]. В связи с этим при построении шкалы космологических расстояний необходимы анализ и сопоставление с данными астрофизических наблюдений большого числа комбинаций физических моделей собственной и космологической составляющих красного смещения внегалактических объектов.

С этой целью была разработана программа для построения шкалы космологических расстояний в соответствии с моделью, в которой красное смещение наблюдаемых объектов разделяется на собственное z_0 и космологическое z_k красные смещения:

$$1 + z = (1 + z_0)(1 + z_k). \quad (1)$$

Для описания красного смещения в качестве основных моделей использованы модель Вселенной с различными значениями плотности вещества и кривизны пространства, но равной нулю космологической постоянной (решение уравнения Маттига)

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

и обобщенная интерполяционная модель

$$z_k = (H_0 / c) D_L [1 + k(H_0 / c) D_L]^k, \quad (3)$$

где c – скорость света; $D_L = 10^{-5+0,2(m-M)}$ – фотометрическое расстояние в мегапарсеках, m , M – видимая и абсолютная звездные величины источников [6]; k – параметр формы.

Также можно применить модели плоской пустой Вселенной с космологической постоянной $\Omega_\Lambda = 1$ и из [7]:

$$z_k = [\sqrt{1 + 4(H_0 / c) D_L} - 1] / 2; \quad z_k = [1 - (H_0 / c)^2 D_L^2]^{-1} - 1.$$

При этом собственное красное смещение описано уточненной поправкой Арпа–Трюмплера $z_0 = K \cdot 10^{0,2M}$

$$z_0 = [1 - 2K(T_{\text{эф}})10^{-0,2M}]^{-1/2} - 1, \quad (4)$$

где K – некоторая константа [6], учитывающая эффективную температуру $T_{\text{эф}}$ источника [8].

В выражении (4) абсолютную звездную величину можно выразить через видимую звездную величину m и фотометрическое расстояние D_L . Тогда выражение (1) позволяет по известным значениям наблюдаемого красного смещения и видимой звездной величины вычислить фотометрическое расстояние до объекта. По полученному расстоянию вычисляют космологическое и собственное красные смещения.

С помощью программы выполняются расчеты для разных моделей при различных значениях параметров и с разными выборками объектов. База данных содержит сведения о красных смещениях и видимых звездных величинах в фильтрах V-выборки радиогалактик и квазаров [9], B-выборки сверхновых типа Ia [10] и в различных фильтрах выборки квазаров [11]. Результаты вычислений выводятся в виде графиков зависимостей собственного, полного и космологического красных смещений и абсолютной звездной величины объектов от фотометрического расстояния, а также обратной зависимости фотометрического расстояния от космологического красного смещения. При этом для отдельно заданных значений по построенной шкале могут быть определены космологическое, собственное красное смещение и фотометрическое расстояние. Программа разработана с помощью пакета математических и инженерных вычислений MATLAB с применением графического пользовательского интерфейса (GUI). Для ее использования необходим пакет MATLAB версии MATLAB R2010b или более ранних.

Проведенные вычислительные эксперименты позволили получить следующие результаты.

1. Инструментальная составляющая погрешности неадекватности шкал расстояний, соответствующих различным моделям красного смещения, по космологической составляющей красного смещения доведена до уровня «машинного нуля» средства вычислений ($1,6 \cdot 10^{-16} - 7,9 \cdot 10^{-17}$),

и поэтому не может быть основным критерием правильности выбора структуры модели. Так, для квазаров и радиогалактик модель (2) характеризуется средним и абсолютным отклонениями $d = 1,08 \cdot 10^{-16}$ и $d = 9,66 \cdot 10^{-17}$, соответственно, интерполяционная модель (3) при параметре формы $k = -1$ дает $d = 1,68 \cdot 10^{-16}$ и $d = 9,11 \cdot 10^{-17}$, соответственно, а при объединении данных эта величина составляет $d = 1,33 \cdot 10^{-16}$.

2. При определенных значениях параметров для некоторых объектов не существует действительных решений уравнения, определяющего фотометрическое расстояние или уравнение шкалы. Эти обстоятельства могут быть основанием для дополнительных исследований или даже для отклонения модели в целом. Так, например, в модели (2) на основе решения уравнения Маттига по объединенным данным о радиогалактиках и квазарах при параметре ускорения $q_0 = -1,5$ для $z_k > 0,3$ в уравнение шкалы входит второй действительный корень, и шкала увеличивается до 5000 Мпс, что превышает принятый на сегодня «возраст Вселенной».

3. Программа может рассматриваться как автоматизированное рабочее место по моделированию шкал космологических расстояний и существенно сокращать время на их исследования. При этом перечень моделей может быть дополнен.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Humason M., Mayall N., Sandage A.** Red shift and magnitudes of extragalactic nebulae // *Astronom. J.* 1956. V. 61. P. 97.
2. **Freedman W. L. e. a.** Final Results from the Hubble Space Telescope Key Project to Measure the Hubble Constant // *Astrophys. J.* 2001. V. 553. P. 47.
3. **Riess A. G. e. a.** Are determination of the Hubble constant with the Hubble space telescope from a differential distance ladder [Электрон. ресурс]. [http://arXiv:0905.0695v1\[astro-ph.CO\]](http://arXiv:0905.0695v1[astro-ph.CO]) (дата обращения: 15.12.2012).
4. **Perlmutter S. e. a.** Measurements of Ω and Λ from 42 high-red shift supernovae // *Astrophys. J.* 1999. V. 517. P. 565 – 586.
5. **Бербидж Дж., Бербидж М.** Квазары. М.: Мир, 1969.
6. **Левин С. Ф.** Шкала космологических расстояний на основе интерполяционной модели красного смещения // *Измерительная техника.* 2012. № 6. С. 12 – 14; **Levin S. F.** Cosmological distances scale based on a red shift interpolation model // *Measurement Techniques.* 2012. V. 55. N 6. P. 609 – 612.

7. **Владимиров Ю. С., Клеицкий А. Н., Кречет В. Г.** К вопросу об интерпретации космологического красного смещения // Ярославский педагогический вестник. Сер. «Физико-математические и естественные науки». 2010. № 2. С. 53–62.

8. **Левин С. Ф.** Статистические методы решения измерительных задач космологии и гравитации // Физика фундаментальных взаимодействий: Тез. докл. Междунар. сессии-конф. секции ядерной физики ОФН РАН. М.: РАН, НИЯУ «МИФИ», 2012. С. 89.

9. **Ленг К.** Астрофизические формулы. Ч. 2. М.: Мир, 1978.

10. **Guy J. e. a.** The Supernova Legacy Survey 3-year sample: Type Ia supernovae photometric distances and cosmological constraints // Astronomy & Astrophysics. 2010. V. 523. A. 7.

11. **Sloan** Digital Sky Survey Quasars [Электрон. ресурс]. <http://cas.sdss.org/dr7/en/proj/advanced/quasars/query.asp> (дата обращения: 15.01.2013).

Дата принятия 17.01.2013 г.

