

Шкала космологических расстояний. Часть 13: галактическая полярная анизотропия красного смещения квазаров и сверхновых типа SN Ia

Сергей Фёдорович Левин

Московский институт экспертизы и испытаний, Москва, Россия, miei-metrolog@yandex.ru

Аннотация. Во второй половине XX в. получены данные, которые указывали на аномалии закона красного смещения Хаббла, а также выдвинута гипотеза о происхождении квазаров как выбросов из галактик с активными ядрами. К концу XX в. в Местной группе галактик обнаружены дипольная анизотропия красного смещения и аномалии оценок параметра Хаббла. Нарастающее расхождение этих оценок по сверхновым SN Ia относительно оценок параметра Хаббла по данным измерений микроволнового фонового излучения при интерпретации данных измерений в рамках различных космологических моделей и анизотропия красного смещения в 2016 г. вызвали дискуссию о кризисе в космологии, которую начали Венди Фридман и Адам Рисс. Задача идентификации шкалы космологических расстояний рассмотрена как задача калибровки. В результате её решения выявлен диполь анизотропии красного смещения сверхновых типа SN Ia – реперных точек шкалы фотометрических расстояний. Диполь имеет максимум и минимум в областях соответственно северного и южного галактических полюсов. Противоположная ориентация диполя анизотропии красного смещения для квазаров стала новым аспектом проблем шкалы космологических расстояний.

Ключевые слова: красное смещение, сверхновые SN Ia, квазары, шкала космологических расстояний, анизотропия, ранговая инверсия

Для цитирования: Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 13: галактическая полярная анизотропия красного смещения квазаров и сверхновых типа SN Ia // Измерительная техника. 2022. № 10. С. 11–18. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2022-10-11-18>

Cosmological distances scale. Part 13: galactic polar redshift anisotropy of quasars and supernovae of type SN Ia

Sergey F. Levin

Moscow Institute of Expertise and Testing, Moscow, Russia, miei-metrolog@yandex.ru

Abstract. In the second half of the 20th century, for the first time, data were obtained that indicated anomalies of Hubble's redshift law. Their author was the American astronomer Helton Arp. He also hypothesized the origin of quasars as ejections from galaxies with active nuclei and was a proponent of the Big Bang theory. The latter circumstance caused numerous criticism of the results obtained by him. However, by the end of the 20th century, redshift dipole anisotropy and anomalies of Hubble parameter estimates were discovered in the Local Group of galaxies. The increasing distribution of these estimates for SN Ia supernovae relative to the estimates of the Hubble parameter based on measurements of microwave background radiation when interpreting measurement data within various cosmological models and the redshift anisotropy in 2016 caused a discussion about the crisis in cosmology. Wendy Freedman and Adam Riess started it. A brief overview of the discussion materials is given, and the problem of identifying the scale of cosmological distances is considered as a calibration problem. As a result of its solution, the redshift anisotropy dipole of supernovae of type SN Ia was revealed as reference points of the photometric distance scale. The dipole has a maximum in the region of the north galactic pole, and a minimum in the region of the south pole. The opposite orientation of the redshift anisotropy dipole for quasars has become new aspect of the problems of the cosmological distance scale.

Keywords: redshift, supernovae SN Ia, quasars, cosmological distance scale, anisotropy, rank inversion

Введение. В 1960 г. американский астроном Хэлтон Арп удостоен премии имени Хелен Уорнер Американского астрономического общества за значительный вклад в наблюдательную и теоретическую астрономию. Спустя шесть лет он опубликовал «Атлас пекулярных галактик» (далее – атлас) с 338 фотографиями [1]. На одной из них изображены галактики NGC 7603 и NGC 7603B, соединённые перемишкой,

на концах которой наблюдались квазары с красными смещениями $z=0,243$ и $z=0,391$ [2]. Согласно закону Хаббла для лучевой скорости $cz=H_0D_L$ (c – скорость света; H_0 – постоянная (параметр) Хаббла; D_L – фотометрическое расстояние [3]) различие красных смещений галактик ($z=0,029$ и $z=0,057$) указывало на то, что галактика NGC 7603B находится на 436 млн св. лет дальше. К взаимодействующим

(т. е. равноудалённым) объектам были отнесены галактика NGC 4319 ($z=0,004923$) с квазаром Markarian 205 ($z=0,070846$) и галактики квинтета Стефана – NGC 7317 ($z=0,022012$), NGC 7318A ($z=0,022115$), NGC 7318B ($z=0,019260$), NGC 7319 ($z=0,022823$) и NGC 7320C ($z=0,002625$). Причём на фоне галактики NGC 7319 был квазар с красным смещением $z=2,114$ [4].

Публикация атласа [1] вызвала среди астрономов и космологов противоречивые мнения. Но в действительности Х. Арп преследовал другую цель. Классификацию галактик в 1926 г. разработал Э. Хаббл. В 1950-е гг. под его руководством поиском новых звезд в галактике М 31 (туманность Андромеды) занимался Х. Арп. Атлас [1] дополнил эту классификацию. Х. Арп связал происхождение квазаров с выбросами из галактик с активными ядрами и стал противником теории Большого взрыва. Последнее обстоятельство и вызвало многочисленную критику результатов его исследований.

В 1983 г. Х. Арп изучал системы спиральных галактик М 31 и М 81. Доплеровская интерпретация фиолетового смещения $z < 0$ в спектрах излучения приписывала этим галактикам лучевые скорости $V_h = -301 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ при $z = -0,001$; $V_h = -36 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ при $z = -0,000113$ [5]. Смещение в спектрах излучения карликовых галактик-спутников спиральных галактик не вписывалось в закон Хаббла: оно нарастало во все стороны от М 31 и М 81 (таблица, где полужирным шрифтом

выделены указанные карликовые галактики-спутники, в скобках приведены разности лучевых скоростей относительно центральной галактики). Аналогичная аномалия присуща и карликовым спутникам нашей Галактики – Малого (SMC) и Большого (LMC) Магеллановых облаков. Если большинство космологов считало оптической иллюзией взаимодействующие объекты атласа [1], то аномалии в системах спиральных галактик М 31, М 81 и Млечный путь были уже астрометрическими результатами.

На аномальный рост оценок локального параметра Хаббла H_0 в радиусе 1–2 Мпк в 1971 г. указал А. Сэндейдж [6], а в 1988 г. Р. Талли обнаружил в диапазоне 7–30 Мпк пик $H_0 \approx 90 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ [7].

В 1992 г. Х. Арп предложил двухкомпонентную модель красного смещения квазаров $z_{\text{кв}} = (1+z_0)(1+z_v) - 1$, где $z_0 = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-0,2\mu}$ – собственное красное смещение квазаров с абсолютной звездной величиной μ , z_v – «красное смещение из-за скорости объекта» [8]. Принято считать, что с учётом формулы Стефана-Больцмана, зависимостей «светимость – абсолютная звёздная величина» и «масса – светимость», собственное красное смещение квазара эквивалентно гравитационному смещению. К 1995 г. установлено, что распределение квазаров по красному смещению имеет максимум при $z \approx 2$ и далее быстро спадает [9].

В 1997 г. для Местной группы галактик данные [6, 7] об аномалиях красного смещения уточнили И. Д. Караченцев и Д. И. Макаров [10]. Они зафиксировали рост локального параметра Хаббла H_0 до $95 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ к расстоянию 2 Мпк с уменьшением до $65\text{--}70 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ к расстоянию 8 Мпк. Также был идентифицирован эллипсоид локального параметра Хаббла, $(81 \pm 3, 62 \pm 3, 48 \pm 5) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$, ориентированный большой осью в точку с экваториальными координатами $\alpha \approx 13^{\text{h}}$ и $\delta \approx -15^\circ$ в созвездии Virgo (полужирным шрифтом выделено значение параметра для большой оси).

С одной стороны, появление закона и параметра Хаббла H_0 открыло в космологии новую возможность – определение космологических расстояний по красному смещению. С другой стороны, динамика оценок H_0 стала в космологии неявным признаком кризиса, так как по мере расширения доступной наблюдениям инструментальными средствами части Вселенной эти оценки к 1971 г. уменьшились с 530 до $50 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ [11]. Стремительное падение оценок параметра Хаббла на протяжении XX в. привело к тому, что собственно красное смещение для внегалактических объектов превратилось в самостоятельную шкалу порядка. Это породило цепочку сомнений. Справедлив ли закон Хаббла для космологических расстояний? Является ли красное смещение следствием расширения Вселенной, и какова его природа? Был ли Большой взрыв вообще?

К концу XX в. группами High-Z SN Search Team [12] и Cosmology Supernova Project [13] обнаружено «ускорение расширения Вселенной» и получена согласованная оценка $H_0 = (65,2 \pm 1,3) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$. Это открытие вызвало огромное количество теоретических исследований и возродило веру в метрический характер шкалы космологических расстояний на основе красного смещения. Но несмотря на рост

Аномалии в системах М 31 и М 81

Объект	$V_h, \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$	$D_L, \text{ Мпк}$
Галактика М 31		
NGC 404	–47 (+254)	2,30
NGC 205	–236 (+65)	0,85
NGC 598 (М 33)	–180 (+121)	0,84
And I	–370 (–69)	0,81
NGC 224 (М 31)	–301 (0)	0,77
NGC 221 (М32)	–207 (+94)	0,76
And III	–352 (–51)	0,76
NGC 147	–163 (+138)	0,76
NGC 185	–251 (+50)	0,62
NGC 6822	–56 (+245)	0,50
SMC ($z=0,000527$)	175	0,06
LMC ($z=0,00093$)	317	0,05
Галактика М 81		
Holmberg I	136 (+172)	6,66
NGC 2976	3 (+39)	4,57
NGC 3034 (М 82)	216 (+252)	3,90
K 61	–135 (–99)	3,80
IC 2574	46 (+82)	3,78
NGC 3031 (М 81)	–36 (0)	3,63
UGC 4483	156 (+192)	3,63
Holmberg II	158 (+188)	3,60
NGC 3077	13 (+49)	3,49
NGC 2366	100 (+136)	3,45
NGC 2366	100 (+136)	3,45
NGC 4236	60 (+96)	3,24
NGC 2403	130 (+166)	3,18

точности астрофизических измерений кризис в космологии всё-таки случился, и появились вопросы для дискуссии.

Цель настоящей статьи – анализ математических моделей шкалы космологических расстояний в измерительной задаче её калибровки.

Тупиковая ситуация в космологии. В 2016 г. группа Planck Collaboration по данным измерений космического зонда получила оценку $H_0 = (66,93 \pm 0,62) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ [14], а группа High-Z SN Search Team – новую оценку $H_0 = (73,23 \pm 1,74) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ [15]. Эта новая оценка отклонилась от оценки Planck Collaboration более чем на «три сигма нормального закона» (подробнее о дискуссии см. [16]). На такое «критическое расхождение» обратили внимание специалисты Carnegie-Chicago Hubble Program, заявив о кризисе в космологии [17]. В. Фридман, лидер Hubble Space Project, оценила эту ситуацию в космологии как тупиковую [18], полагая выход из нее в «повышении точности шкалы внегалактических расстояний до 1 %».

В 2018 г. показано, что по критерию минимума среднего модуля погрешности неадекватности (СМПН) принятое в [15] приближение модели Фридмана-Робертсона-Уокера формулой Тейлора 3-го порядка

$$D_L(z) = \frac{c}{H_0} \left(z + \frac{1-q_0}{2} z^2 - \frac{1-q_0-3q_0^2+j_0}{6} z^3 \right),$$

где q_0, j_0 – параметры замедления и толчка соответственно, для данных о сверхновых [12, 13] избыточно [19]. По этому критерию для тех же данных точнее были полученные в 1942 г. О. Хекманом [20] приближение формулой 2-го порядка

$$D_L(z) = \frac{c}{H_0} z \left(1 + \frac{1-q_0}{2} z \right)$$

и обобщающая его интерполяционная модель с параметром формы α [21]:

$$D_L(z) = \frac{c}{H_0} \alpha \left[(1+z)^{1/\alpha} - 1 \right].$$

В 2020 г. для данных о сверхновых SN Ia [12, 13] получена более точная (СМПН = **247,42842** Мпк; CAO = **226,03539** Мпк) анизотропная модель

$$\tilde{D}_L(l, b, z) = \frac{c}{H_0} \left[(1+a_b b) z + \frac{1-q_0}{2} (1+a_l l) z^2 \right], \quad (1)$$

где $a_l = -2,568655129 \cdot 10^{-3}$; $a_b = 2,027311498 \cdot 10^{-3}$ – коэффициенты анизотропии; $H_0 = 60,80404264 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$; $q_0 = -0,14378664$ [22, 23].

Тогда и выяснилось, что требование [18] «по точности ... до 1 %» к шкале космологических расстояний недостижимо не только из-за путаницы между средним квадратическим отклонением (СКО) выборки и СКО среднего арифметического. Дело ещё и в центральном выводе нобелевской лекции [24]: «Казалось, что самые первые данные вблизи $z=0,4$ свидетельствуют о замедляющейся Вселенной без

космологической постоянной. Однако измеренные семь точек давали слишком большой разброс. Даже одна хорошо промеренная на телескопе имени Хаббла сверхновая на вдвое большем красном смещении $z=0,83$ стала свидетельствовать о совсем другой истории расширения. Только после измерения 42 сверхновых стало окончательно ясно, что далекие SN Ia свидетельствуют об ускоренном расширении Вселенной, в которой доминирует космологическая постоянная, а не обычное вещество».

Действительно, в выборке из 42 сверхновых SN Ia [13] наибольшее красное смещение $z=0,83$ имеет сверхновая SN 1997ap на расстоянии 3265,9 Мпк в созвездии Virgo ($\alpha = 13^h 47^m 09,90^s$; $\delta = +2^\circ 23' 57,5''$). Но в этой выборке присутствует сверхновая SN 1996cl с меньшим красным смещением $z=0,828$ на большем расстоянии 3801,9 Мпк в созвездии Leo ($\alpha = 10^h 56^m 59,13^s$; $\delta = +3^\circ 37' 36,4''$). А это и есть ранговая инверсия, нарушающая условие порядка для шкал расстояний.

Строго говоря, модели шкал космологических расстояний на основе красного смещения в действительности являются моделями пространственно-временных трендов. Условные по СМПН относительные отклонения упомянутых сверхновых от характеристики положения модели (1) составляют [16]:

$$\frac{247 \text{ Мпк}}{3265 \text{ Мпк}} \cdot 100 = 7,6 \%; \quad \frac{247 \text{ Мпк}}{3801 \text{ Мпк}} \cdot 100 = 6,5 \%.$$

Такие характерные отклонения явно не вписываются в 1 %.

В 2020 г. анализ [22] гипотез об «ускорении расширения Вселенной» вследствие «космических толчков» при $z=0,763$ [13] и $z=0,46 \pm 0,13$ [12] показал, что этим данным соответствуют «разладки» моделей шкал при $z=0,44 \dots 0,48$ и при $0,763 \leq z \leq 0,828$. Но не ясно, это – «подтверждение гипотез» или «разладки» ошибочно приняты за «толчки». Тогда и был сделан вывод о том, что шкала $D_L(z)$ на основе сверхновых SN Ia метрической не является [22].

Однако в том же 2020 г. более подробный анализ трёхмерной модели (1) шкалы космологических расстояний $D_L(b, l, z)$ для галактических координат (l, b) показал ранговые инверсии SN Ia, амплитуда которых носит мультипликативный характер [23]. Это в некоторой степени объясняет вековое падение оценок параметра Хаббла по мере расширения границ наблюдаемой части Вселенной. Но так как анализ [23] выполнен исключительно для данных из работ [12, 13, 25–26], то фактически в этих работах показано, что шкала на основе фотометрии и красных смещений SN Ia не имеет статуса даже порядковой шкалы. Иначе следует признать ошибочность определений фотометрических расстояний до сверхновых SN Ia [12] многоцветным методом формы кривой блеска (multicolor light curve shape method, MLCS) – ($H_0 = (65,2 \pm 1,3) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$) или методом растяжения (template-fitting method) по шаблонам кривых яркости ($H_0 = (63,8 \pm 1,3) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$). А ведь в 1998 г. близость этих оценок служила доказательством эффективности указанных методов.

При этом существование ранговых инверсий было очевидно ещё в 1929 г. из-за статистического разброса красных

смещений галактик относительно характеристики положения закона Хаббла [3], полученной методом наименьших квадратов. Э. Хаббл пытался установить зависимость красного смещения от направления, но безрезультатно.

Метрология и шкала космологических расстояний.

Расхождение оценок параметра H_0 , сменившее их падение, является лишь поводом для дискуссии о тупиковой ситуации в космологии. По-видимому, кризис в космологии связан с метрологическим качеством математических моделей шкал космологических расстояний и методов их идентификации, с их структурной и параметрической неадекватностью. В метрологическом плане подобная ситуация характерна для проблем калибровки средств измерений.

Дело в том, что в терминах метрологии основная измерительная задача космологии формулируется как задача калибровки или градуировки шкалы космологических расстояний. Математические модели зависимости расстояния до внегалактических объектов от красного смещения в спектрах их излучения фактически являются калибровочными (градуировочными) функциями. Результатом калибровки является диаграмма, которая несёт сведения о доверительных границах погрешностей калибровочной функции.

В определённой степени проясняют смысл дискуссии о «тупиковой ситуации в космологии» результаты [27–34], полученные стандартными тестами на неадекватность моделей шкалы космологических расстояний согласно Р 50.2.004-2000¹ по программам «ММК-стат» [35, 32] и «ММК-стат М» [36] для данных о SN Ia [12, 13, 25, 26], по которым принято решение об «ускорении расширения Вселенной».

Дело в том, что несмотря на обилие данных о SN Ia, композиционно однородную совокупность без ненулевого «нуль-пункта» характеристики положения образуют только объединённые данные [12, 13] при $N=79$ и [12, 13, 37] при $N=112$. Случай $N=79$ предпочтительнее по критерию минимума СМГН [38]. Данным о SN Ia [12, 13] в классе трёхмерных степенных рядов 3-й степени минимуму СМГН=247,42842 Мпк соответствует модель (1) с оценкой калибровочной функции [19]:

$$D_L(l, b, z) = 4930,4692z + 2819,7024z^2 + 9,9955969bz - 12,664675/z^2 \pm 247,42842. \quad (2)$$

Оценка (2) нечувствительна к выбросу $z=0,97$ сверхновой SN 1997ck, что в конце 1990-х гг. беспокоило группу High-Z SN Search Team [12].

В принятой [12, 13] модели Фридмана-Робертсона-Уокера

$$D_L(z) = \frac{c}{H_0} (1+z) \int_0^z \left[(1+x)^2 (1+\Omega_m) - \Omega_\Lambda x(2+x) \right]^{-1/2} dx$$

параметры «тёмной массы» Ω_m и «тёмной энергии» Ω_Λ физической интерпретации не получили, а условие $\Omega_k + \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$ при параметре кривизны $\Omega_k = 0$ в так называемой «плоской Вселенной» принято для согласования с угловым

спектром мощности реликтового фона, полученным в рамках Λ CDM-модели [39]. Однако рассогласование оценок этого спектра с данными измерений для низких мультиполей в Λ CDM-модели не устранено.

Заметим, что в работах [12, 13] получены различающиеся оценки Ω_m и Ω_Λ (подробнее см. [16]), которые пришлось «сводить» ради $\Omega_k = 0$.

Другими словами, решение задачи структурно-параметрической идентификации полной модели Фридмана-Робертсона-Уокера как модели максимальной сложности при нефиксированном параметре Ω_k так и не получено. И вопросы к качеству согласования моделей и данных измерений остаются.

Вместе с тем ранговые инверсии [23] в модели шкалы космологических расстояний (1) и её оценке (2) – не что иное, как аномалии красного смещения [1]. И тогда «Controversies by Halton Arp» (идеям Х. Арпа о красном смещении квазаров в [40]) могут соответствовать гипотезы $z(l, b)$ или $z(\alpha, \delta)$ на основе двумерных степенных рядов или рядов Тейлора, где галактические или экваториальные координаты внегалактических объектов должны играть роль влияющих величин в задаче калибровки [41].

Эффект Доплера и анизотропия красного смещения.

В 1998 г. по программе «ММК-стат М» [36] для данных 1966–1974 гг. о 124 квазарах [11, ч. 1, табл. 31] получена модель логарифмической диаграммы Хаббла

$$\begin{aligned} \lg cz = & -1,8650157 \cdot 10^{-3} \delta - 2,6945406 \cdot 10^{-1} \alpha + \\ & + 8,2279198 \cdot 10^{-2} m + 4,3915797 \cdot 10^{-2} \theta + \\ & + 2,2102848 \cdot 10^{-3} \alpha^2 + 1,2364350 \cdot 10^{-2} \alpha m + \\ & + 4,9220020 \cdot 10^{-5} \theta^2 + 1,0164755 \cdot 10^{-4} \theta \delta - \\ & - 3,3828735 \cdot 10^{-3} m \theta \pm 3,6628562 \cdot 10^{-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где c – скорость света; $z > 0$ – красное смещение; δ – склонение; α – прямое восхождение; m – звездная величина; θ – максимальные угловые размеры [42].

Модель (3) выявила в плоскости $[\lg cz, \alpha]$ диполь анизотропии красного смещения в среднем (характеристики диполя – максимум $\bar{z}$ при $\alpha \approx 1^h \rightarrow$ минимум $\bar{z}$ при $\alpha \approx 13^h$), соответствующий по прямому восхождению апексу движения Солнца относительно реликтового фона и галактической полярной оси (линия [Южный полюс P_S : $\alpha = 0^h 40^m$ и $\delta = -28^\circ$, Sculptor] $\rightarrow$ [Северный полюс P_N : $\alpha = 12^h 40^m$ и $\delta = +28^\circ$, Coma Berenices]). При этом была отмечена аналогия с анизотропией реликтового излучения.

В 1969 г. обнаружено, что температура реликтового фона в направлении на южный галактический полюс P_S на 0,1 % ниже, чем в среднем, а в направлении на северный галактический полюс P_N – на столько же выше [43]. Этот максимум связан с эффектом Доплера при движении Солнца в сторону созвездий Virgo и Leo со скоростью около $(370 \pm 3) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ в точку с экваториальными координатами эпохи J1950

¹ Р 50.2.004-2000. ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.

$\alpha = 1^{\text{h}} 38^{\text{m}}$ и $\delta = -3^{\circ} 25'$ [44], а по данным [45] – со скоростью $(368 \pm 2) \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ в точку $\alpha = 1^{\text{h}} 9^{\text{m}}$ и $\delta = -6^{\circ} 53'$.

Тот факт, что диполь анизотропии красного смещения квазаров ориентирован минимумом в область около северного галактического полюса P_N , не противоречит современным физическим соображениям.

В этом направлении находится самая массивная в наблюдаемой части Вселенной система сверхскоплений галактик (Shapley Supercluster, Virgo Supercluster и Laniakea Supercluster), притягивающая (т. е. вызывающая ускорение) Местную группу галактик в направлении созвездий Hydra и Virgo ($\alpha \approx 12^{\text{h}} \dots 14^{\text{h}}$). Это приводит к появлению в ряде случаев даже к фиолетовому смещению в спектрах галактик.

В области же около южного галактического полюса P_S расположен Eridanus Supervoid или самая большая в наблюдаемой части Вселенной пустота (супервоид) – CMB Cold spot². Поэтому доплеровская составляющая красного смещения внегалактических объектов в направлении Hydra, Virgo и Leo для «расширяющейся Вселенной» должна быть меньше. И если красное смещение действительно связано с кинематическим или космологическим эффектом Доплера, то этот эффект должен проявляться единообразно для любых источников излучения – и квазаров, и сверхновых SN Ia.

В то же время локальные значения параметра Хаббла для галактик Местной группы составляют $H_0 > 80 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ в Virgo и $H_0 < 50 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$ в Eridanus [10].

В XXI в. в области северного галактического полюса P_N в созвездиях Virgo, Coma Berenices и Leo открыты квазары с большими красными смещениями: SDSS J1148+5251 ($z=6,419$); SDSS J1030+0524 ($z=6,28$); ULAS J1120+0641 ($z=7,085$); ULAS J1342+0928 ($z=7,54$).

В области южного галактического полюса P_S в созвездиях Taurus и Eridanus, в котором находится Eridanus Supervoid, были открыты квазары CFHQS J2329-0301 ($z=6,43$), J0439+1634 ($z=6,51$) и J0313-1806 ($z=7,64$). Но это не внесло принципиальных изменений в распределение квазаров. На их концентрацию с большими красными смещениями к минимуму в распределении теплового реликтового фона во второй половине 1960-х гг. обратили внимание Д. Вилкинсон и Р. Патридж [46]. По мнению Н. С. Кардашева [47], это совпадение может быть сильным аргументом в пользу космологической природы красного смещения и анизотропии модели вселенной.

Для 79 сверхновых SN Ia [12, 13] зависимость $z(l, b)$ в классе двумерных степенных рядов 3-й степени даёт характеристику положения

$$z(l, b) = 8,4388414 \cdot 10^{-3} l + 2,0329349 \cdot 10^{-3} b - 4,6150315 \cdot 10^{-5} l^2 + 6,7421134 \cdot 10^{-8} l^3 - 7,1086515 \cdot 10^{-7} b^3 + 3,9645819 \cdot 10^{-8} l^2 b \pm 0,20036946. \quad (4)$$

Модель (4) в проекции на плоскость $[z, b]$ имеет чёткий максимум в северной галактической полусфере вблизи P_N

и минимум в противоположном направлении. Для выборки сверхновых $N=112$ контраст между полусферами еще больше.

Таким образом, *диполь анизотропии красного смещения* сверхновых типа SN Ia, по которым было обнаружено «ускорение расширения Вселенной» [12, 13], и *диполь анизотропии красного смещения* квазаров [11, 42] *по максимуму имеют противоположную ориентацию*.

Заключение. С момента обнаружения квазаров в качестве природы их красного смещения рассматривались гравитационный и доплеровский эффекты [47]. Позже появилось представление о квазарах как о чёрных дырах в окружении аккреционных дисков, что объясняло уникальную светимость квазаров. Но реальных определений расстояний до квазаров до сих пор нет.

В 1998 г. в астрономии появился термин «пузырь Хаббла», означающий «отклонение локального значения параметра Хаббла от глобального среднего значения» [47]. Авторы [48] изучили пекулярные скорости 44 сверхновых SN Ia для проверки гипотезы о существовании локальной пустоты – воида. При этом была отмечена аналогия с анизотропией реликтового излучения, и установлено, что Земля находится внутри относительно пустой области пространства с «недостачей» плотности около 20 % (плотность воида на 20 % меньше плотности окружающего его пространства) и окружена более плотной оболочкой, то есть «пузырём».

Другими словами, если бы Земля находилась внутри или *рядом* с центром области межзвёздного пространства с очень низкой плотностью, то более плотное вещество снаружи такой области с заметной силой притягивало бы вещество из центра области с низкой плотностью. Звёзды внутри «пузыря Хаббла» двигались бы в направлении от Земли с ускорением и со скоростями, отличающимися по величине и направлению.

В 2007 г. в работе [49] на основе анализа сверхновых и полного спектра реликтового фона с учётом ряда ограничений (барионных акустических колебаний, возраста объектов, нуклеосинтеза Большого взрыва, комптоновского искажения и др.) сделан вывод о том, что модели воидов предсказывают очень низкие значения локального параметра Хаббла.

В работе [50] изучалось влияние космической пыли Млечного пути на соотношение между светимостью и красным смещением сверхновых SN Ia для обнаружения «пузыря Хаббла» – отклонения локального значения параметра Хаббла от усреднённого значения. Итогом исследований стал вывод: «либо внутренние цвета SN более сложны, чем можно описать с помощью одного параметра формы кривой блеска, либо пыль вокруг сверхновых SN Ia необычна. Распутывание этих возможностей является одновременно и проблемой, и возможностью для масштабного исследования SN Ia». Однако гипотеза о «пузыре Хаббла» объясняет «ускорение расширения Вселенной» без привлечения гипотезы о «тёмной энергии», характеризуемой параметром Ω_Λ .

² Холодное пятно (Cold spot) обнаружено 24 августа 2007 г. По самым скромным подсчётам ширина этой области от 150 до 500 млн св. лет, а глубина – от 6 до 10 млрд. св. лет (по расчётам вся Вселенная простирается на 93,5 млрд. св. лет). Радиус Холодного пятна составляет около 5°, его центр находится в точке ($l=207,8^\circ$ и $b=-56,3^\circ$ или $\alpha=03^{\text{h}} 15^{\text{m}} 05^{\text{s}}$ и $\delta=-19^\circ 35' 02''$) при $z \approx 1$ [43].

Исследование [51], проведённое в 2015 г., показало существование супервоида радиусом 1,8 млрд. св. лет на расстоянии 3 млрд. св. лет в направлении Холодного пятна, вероятно, связанного с ним.

В 2021 г. подтверждено обнаружение Supervoid Eridanus как «значительной пониженной плотности в направлении Холодного пятна при $z < 0,2$ » [52]. По космологическим масштабам это – *рядом*.

Таким образом, разнонаправленная ориентация диполей анизотропии красного смещения для квазаров и сверхновых SN Ia снова подняла вопрос о природе красного смещения в проблеме определения космологических расстояний.

Правда, может быть всё гораздо проще. Красное смещение для сверхновых во многих случаях определяется по красному смещению родительских галактик, так как продукты взрыва движутся навстречу наблюдателю со скоростями расширения оболочки вблизи уровня фотосферы порядка $(1...2) \cdot 10^4 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1}$ и дают фиолетовое смещение. Реже красное смещение сверхновых типа SN Ia определяется по смещениям минимумов абсорбционных компонентов спектральных линий [12].

Напомним, локальные значения параметра Хаббла именно для галактик Местной группы в северной галактической полусфере выше, чем в южной [10].

Список источников / References

1. Arp H. C., *Atlas of Peculiar Galaxies*, California Institute of Technology, 1966. 190 p.
2. Lórez-Corredoir M., Gutierrez C. M., *Astronomy & Astrophysics*, 2002, vol. 390, no. 3, L15–L18. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020476>
3. Hubble E., A relation between distance and radial velocity among extragalactic nebulae, *Proceedings National Academy of Science*, 1929, vol. 15, pp. 168–173.
4. Galianni P., Burbidge E. M., Arp H., Junkkarinen V., Burbidge G., Zibetti S., *Astrophysical Journal*, 2005, vol. 620, no. 1, pp. 88–94. <https://doi.org/10.1086/426886>
5. Arp H., How Non-velocity red shifts in Galaxies Depend on Epoch of Creation, *Apeiron*, 1991, vol. 1, no. 9–10, pp. 53–80.
6. Sandage A. R., The age of the galaxies and globular cluster, problems of finding the Hubble constant and deceleration parameter, in *Nuclei of galaxies*, ed. D. C. O'Connell, Vatican City, Pontifical academy of sciences, 1971, p. 601.
7. Tully R. B., Origin of Hubble constant Controversy, *Nature*, 1988, vol. 334, pp. 209–212.
8. Arp H. C., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1992, vol. 258, p. 800–810. <https://doi.org/10.1093/MNRAS/258.4.800>
9. Shaver P. A., *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1995, vol. 759, p. 87–109. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1995.tb17518.x>
10. Макаров Д. И. Движения галактик на больших и малых масштабах: дисс. канд. физ.-мат. наук (Н. Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН, 2000) [Makarov D. I., Candidate dissertation Mathematics and Physics (Arkhyz, Special astrophysical laboratory, RAN, 2000)].
11. Ленг К. Астрофизические формулы: Руководство для физиков и астрофизиков. Часть 1: пер. с англ. Ю. К. Земцова, И. Г. Персианцева и В. Е. Чертопруд под ред. Л. А. Покровского и В. Л. Хохловой. 448 с. Часть 2: пер. с англ. А. Г. Дорошкевича, А. В. Засова и М. Ю. Хлопова под ред. Д. К. Надежина и Л. М. Озерного. М.: Мир, 1978. 384 с. [Lang K. R., *Astrophysical formulae: A Compendium for the Physicist and Astrophysicist*, Part 1–2, Berlin, N.Y., Springer-Verlag, 1980, 783 p.].
12. Riess A.G. et al., *Astronomical journal*, 1998, vol. 116, p. 1009–1038. <https://doi.org/10.1086/300499>
13. Perlmutter S. et al., *Astrophysical Journal*, 1999, vol. 517, pp. 565–586. <https://doi.org/10.1086/307221>
14. Planck Collaboration. Planck intermediate results. XLVI. Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth, *Astronomy & Astrophysics*, 2016, vol. 596, A107. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201628890>
15. Riess A. G. et al., *Astrophysical Journal*, 2016, vol. 826, no. 1, 56. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/826/1/56>
16. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 10. Глобальная анизотропия // Измерительная техника. 2020. № 10. С. 9–25. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-10-9-25> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2021, vol. 63, no. 10, pp. 780–797. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01854-z>].
17. Beaton R. L., Freedman W. L., Madore B. F. et al., *Astrophysical Journal*, 216, vol. 832, no. 2, 210. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/832/2/210>
18. Freedman W. L., *Nature Astronomy*, 2017, vol. 1, 0169. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.02739>
19. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 7. Новый казус с постоянной Хаббла и анизотропные модели // Измерительная техника. 2018. № 11. С. 15–21. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2018-11-15-21> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2019, vol. 61, no. 11, pp. 1057–1065. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01549-6>].
20. Heckmann O., *Theorien der Kosmologie*, Berlin, Springer, 1942, 114 p.
21. Левин С. Ф. Оптимальная интерполяционная фильтрация статистических характеристик случайных функций в детерминированной версии метода Монте–Карло и закон красного смещения. М.: АН СССР, НСК, 1980. 56 с. [Levin S. F., *Optimal'naya interpolacionnaya fil'traciya statisticheskikh harakteristik sluchajnyh funkcij v determinirovannoj versii metoda Monte-Karlo i zakon krasnogo smeshcheniya*, Moscow, AN SSSR, NSK, 1980. 56 p. (In Russ.)].
22. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 11. «Экстраординарные» доказательства и проблема «космического толчка» // Измерительная техника. 2020. № 11. С. 3–8. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-11-3-8> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2021, vol. 63, no. 11, pp. 849–855. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01874-9>].

23. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 12. Конфлюэнтный анализ, ранговая инверсия и тесты на неадекватность // Измерительная техника. 2020. № 12. С. 13–21. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2020-12-13-21> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2021, vol. 63, no. 11, pp. 940–949. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01876-7>].
24. Перлмуттер С. Нобелевская лекция. Стокгольм. 08.12.2011 г. // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 10. С. 1060–1077 [Perlmutter S., *Nobel Lecture*, Stockholm, 08.12.2011].
25. Riess A. G. et al., *Astrophysical Journal*, 2004, vol. 607, pp. 665–687. <https://doi.org/10.1086/383612>
26. Riess et al., *Astrophysical Journal*, 2007, vol. 659, pp. 98–121. <https://doi.org/10.1086/510378>
27. Левин С. Ф. Фотометрическая шкала космологических расстояний. Часть II. «Неожиданные» совпадения // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 3–7 [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2014, vol. 57, no. 4, pp. 378–384. <https://doi.org/10.1007/s11018-014-0464-6>].
28. Левин С. Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Катастрофический феномен в космологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2014. № 3. С. 8–13 [Levin S. F., *Matematicheskaya teoriya izmeritel'nyh zadach: Prilozheniya. Katastroficheskij fenomen v kosmologii, Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i sistemy*, 2014, no. 3, pp. 8–13. (In Russ.)].
29. Левин С. Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Катастрофический феномен в космологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2014. № 4. С. 35–38 [Levin S. F., *Matematicheskaya teoriya izmeritel'nyh zadach: Prilozheniya. Katastroficheskij fenomen v kosmologii, Kontrol'no-izmeritel'nye pribory i sistemy*, 2014, no. 4, pp. 35–38. (In Russ.)].
30. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 5. Метрологическая экспертиза по сверхновым типа SN Ia // Измерительная техника. 2016. № 8. С. 3–10 [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2016, vol. 59, no. 8, pp. 791–802. <https://doi.org/10.1007/s11018-016-1047-5>].
31. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 6. Статистическая анизотропия красного смещения // Измерительная техника. 2017. № 5. С. 3–6. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2017-5-3-6> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2017, vol. 60, no. 5, pp. 411–417. <https://doi.org/10.1007/s11018-017-1211-6>].
32. Левин С. Ф. Измерительные задачи статистической идентификации шкалы космологических расстояний // Измерительная техника. 2011. № 12. С. 17–22 [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2012, vol. 54, no. 12, pp. 1334–1341. <https://doi.org/10.1007/s11018-012-9892-3>].
33. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 8. Масштабный фактор // Измерительная техника. 2019. № 1. С. 8–15. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2019-1-8-15> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2019, vol. 62, no. 1, pp. 7–15. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01578-1>].
34. Левин С. Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 9. Параметр замедления // Измерительная техника. 2019. № 10. С. 8–14. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2019-10-8-14> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2020, vol. 62, no. 10, pp. 855–862. <https://doi.org/10.1007/s11018-020-01705-3>].
35. Левин С. Ф., Блинов А. П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно-статистическими методами // Измерительная техника. 1988. № 12. С. 5–8 [Levin S. F., Blinov A. P., *Measurement Techniques*, 1988, vol. 31, no. 12, pp. 1145–1150. <https://doi.org/10.1007/BF00862607>].
36. Левин С. Ф., Лисенков А. Н., Сенько О. В., Харатьян Е. И. Система метрологического сопровождения статических измерительных задач «ММК-стат М». Руководство пользователя. М.: Госстандарт РФ, Вычислительный Центр РАН, 1998. 32 с. [Levin S. F., Lisenkov A. N., Sen'ko O. V., Harat'yan E. I., *Sistema metrologicheskogo soprovozhdeniya staticheskix izmeritel'ny'x zadach "MMK-stat M". Rukovodstvo pol'zovatelya*, Moscow, Gosstandart RF, VC RAN Publ., 1998, 32 p. (In Russ.)].
37. Пружинская М. В. Сверхновые звезды, гамма-всплески и ускоренное расширение Вселенной: дисс. канд. физ.-мат. наук (Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, 2014) [Pruzinskaya M. V., *Candidate dissertation Mathematics and Physics*, Moscow, M. V. Lomonosov Moscow State University, 2014].
38. Левин С. Ф. Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи // Измерительная техника. 1995. № 7. С. 15–21 [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 1995, vol. 38, no. 7, pp. 732–743. <https://doi.org/10.1007/BF02616256>].
39. Сажин М. В. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Последние данные // Успехи физических наук. 2004. Т. 174. С. 197–205. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0174.200402g.0197> [Sazhin M. V., *Anisotropy and polarization of cosmic microwave background: state of the art, UFN*, 2004, vol. 174, no. 2, pp. 197–205].
40. Arp H. C., *Quasars, Red shifts and Controversies*, Interstellar Media, Cambridge University Press, 1987, 208 p.
41. Левин С. Ф. Измерительные задачи калибровки средства измерений для заданных условий // Измерительная техника. 2021. № 4. С. 9–15. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2021-4-9-15> [Levin S. F., *Measurement Techniques*, 2021, vol. 64, no. 4, pp. 273–281. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01929-x>].
42. Левин С. Ф. Метрологическая аттестация математических моделей в измерительных задачах гравитации и космологии // Теоретические и экспериментальные проблемы общей теории относительности и гравитации // Тезисы докладов X-й РГК. М.: РГО, 1999. С. 245 [Levin S. F., *Abstracts of Papers Conference X-j RGK*, Moscow, RGO Publ., 1999, p. 245 (In Russ.)].
43. Kogut A. et al., *Astrophysical Journal*, 1993, vol. 419, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1086/173453>
44. Cruz M., Cayón L., Martínez-González E., Vielva P., Jin J., *Astrophysical Journal*, 2007, vol. 655, no. 1, 11. <https://doi.org/10.1086/509703>
45. Смут Дж. Ф. Анизотропия реликтового излучения: открытие и научное значение // УФН. 2007. Том 177, № 12. С. 1294–1317. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0177.200712d.1294> [Smoot J. F., *Nobel lecture*, Stockholm, December 8, 2006].

46. Wilkinson D. T., Partridge R. B., Large-scale density non-homogeneities in the Universe, *Nature*, 1967, vol. 215, p. 719.
47. Бербидж Дж., Бербидж М. Квазары. Пер. с англ. В. И. Слыша и Г. Б. Шоломицкого. Под ред. Н. С. Кардашева. М.: Мир, 1969. 240 с. [Burbidge G., Burbidge M., *Quasi-stellar Objects*, San Francisco, London, W.H. Freeman and Company, 1967].
48. Idit Z., Riess A. G., Kirshner R. P., Dekel A., *Astrophysical Journal*, 1998, vol. 503(2), p. 483.
<https://doi.org/10.1086/306015>
49. Conley A. et al., *Astrophysical Journal*, 2007, vol. 664, no. 1, L13–L16. <https://doi.org/10.1086/520625>
50. Moss A. et al., *Physical Review*, 2010, vol. 83, no. 10. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.83.103515>
51. Szapudi I. et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2015, vol. 450, pp. 288–294. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv488>
52. Kovacs A. et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2022, vol. 510, iss. 1, pp. 216–229.
<https://doi.org/10.1093/mnras/stab3309>

Статья поступила в редакцию 07.07.2022; одобрена после рецензирования 19.08.2022; принята к публикации 30.08.2022.
The article was submitted 07.07.2022; approved after reviewing 19.08.2022; accepted for publication 30.08.2022.