DOI: 10.22363/2224-7580-2023-2-38-48
EDN: IWUOML

КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР В РЕЛЯЦИОННОМ ПОДХОДЕ

А.Б. Молчанов*

Физический факультет
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1, стр. 2

Аннотация. За последние годы в рамках реляционного подхода к описанию пространства-времени и физических взаимодействий был проведён ряд исследований по обоснованию наблюдаемых космологических эффектов. В частности, было показано, что космологическое красное смещение, описываемое линейной частью закона Хаббла, и космический микроволновый фон могут быть результатом вкладов испущенного, но не поглощённого электромагнитного излучения. Для описания нелинейной части закона Хаббла использовалось логарифмическое преобразование координат, связанное с существованием предельного наблюдаемого расстояния, выраженного гравитационным радиусом наблюдаемой Вселенной. Использование такого преобразования необходимо обосновать, показав, как оно может быть получено при выводе пространственно-временных понятий для системы большого числа излучателей и поглотителей. В статье приводится это обоснование: показывается, что при выводе классических расстояний в реляционном подходе существует две возможности определения шкалы расстояний, они соответствуют шкалам сопутствующих и собственных расстояний в космологии, при этом масштабный фактор выражается через статистическую сумму конфигураций излучателей и поглотителей.

Ключевые слова: реляционный подход, закон Хаббла, космология

Введение

В настоящее время исследования в теоретической физике ведутся в рамках трёх подходов: теоретико-полевом, геометрическом и реляционном. В основе первого лежит идея об описании динамики квантованных полей материи и физических взаимодействий на фоне априорно-заданного классического пространства-времени. В геометрическом подходе взаимодействия встраиваются в классическое пространство-время, которое приобретает новые свойства, становясь искривлённым, но продолжая быть самостоятельной независимой конструкцией; ядром этой парадигмы является общая теория относительности (ОТО). В реляционном подходе теории строятся на основе трёх аспектов: 1) вторичность пространственно-временных понятий по отношению

* E-mail: alexeybm2009@gmail.com

к закономерностям микромира; 2) применение концепции дальнодействия при описании взаимодействий, 3) принцип Маха, выражающий непосредственную связь локальных свойств объектов и глобальных свойств окружающего мира [1]. В ряде случаев идеи из одного подхода могут находить применение в другом, однако, как показывает история развития фундаментальной физики, такие пути приводят к эклектичным результатам.

При решении накопившихся за последние десятилетия проблем фундаментальной физики всё больше физиков-теоретиков обращаются к её основаниям, выдвигая на первый план задачу вывода классических пространственно-временных представлений из более глубоких закономерностей микромира. Исходя из приведённых характеристик названных выше подходов, можно убедиться, что наиболее приемлемым для решения данной задачи является реляционный. Поэтому развитие реляционной концепции по всем направлениям, позволяющим взглянуть на фундаментальную физику с трёх сторон, соответствующих трём названным парадигмам, имеет высокий приоритет.

Первый и третий аспекты реляционной парадигмы наиболее ярко проявляются при исследовании основных наблюдаемых космологических эффектов: красного смещения далёких астрономических объектов и космического микроволнового фона. За последние годы был проведён ряд исследований, позволивших дать реляционную интерпретацию названных эффектов [2–5]. Эти исследования, в свою очередь, привели к постановке и разработке методов решения более фундаментальных задач, неразрывно связанных с основаниями физики. В данной работе решается задача реляционного обоснования наличия двух шкал космологических расстояний, которая напрямую сопряжена с задачей вывода классических пространственно-временных понятий из более глубоких закономерностей микромира.

На настоящий момент общепринятой для описания космологии является полученная в рамках геометрического подхода модель ΛCDM (Lambda Cold Dark Matter), которая основывается на одном из частных решений уравнений Эйнштейна, найденном А. Фридманом в 1922–1924 годы. В модель входит ненулевая космологическая постоянная Λ, которая связывается с гипотетической расталкивающей субстанцией – тёмной энергией, а также дополнительная ненаблюдаемая (тёмная) материя. Характерной особенностью данного решения является определённый вид зависимости масштабного фактора от космологического времени $a(\tau)$, показывающей, что Вселенная должна расширяться с переменным темпом, когда замедление расширения сменяется ускорением. Темп характеризуется величиной, выраженной отношением производной масштабного фактора по времениподобной координате к нему самому,

$$H = \frac{\dot{a}}{a},$$

которая называется параметром Хаббла. Его значение в современную эпоху обозначается H_0 и является постоянным в любой точке Вселенной.

Масштабный фактор связывает между собой две основные системы отсчёта, с которыми ведётся работа при описании космологии в общей теории относительности (ОТО): *сопутствующую* (когда узлы её координатной сети связаны с материальными объектами) и *собственную* (где координаты определяются только наблюдателем). В частности, это означает, что в собственных координатах удалённые астрономические объекты движутся относительно наблюдателя со скоростями, определяемыми изменением масштабного фактора, а в сопутствующих – такого движения нет. Любопытно, что в англоязычной литературе собственная система отсчёта называется proper frame, то есть буквально «правильная». Это можно трактовать как свидетельство априорности пространства-времени в геометрическом подходе, поскольку здесь «правильность» определяется только наблюдателем, а не всей рассматриваемой системой в целом. В этой связи стоит указать на то, что, в соответствии с формализмом методов задания систем отсчёта, наиболее естественной в космологической задаче является сопутствующая система отсчёта, это демонстрируется с использованием метода кинеметрических инвариантов [6. С. 159]. Данный формализм является реализацией реляционных идей в геометрической парадигме.

Однако в XX веке и в рамках самого реляционного подхода предпринимались попытки ввести две названные системы координат для описания космологических эффектов. Так, в 1948 году британским физиком и математиком Э. Милном была предложена космологическая модель в рамках его «кинематической теории относительности» [7]. Эта модель позиционировалась не просто как альтернатива известным космологическим моделям, но как попытка вывести динамические понятия и законы из одной лишь кинематики Вселенной.

Милн рассматривал систему разлетающихся галактик, причём пренебрегал их массами, так что их разлёт фактически должен происходить в пространстве-времени Минковского (что, по сути, соответствует случаю для $\rho = 0$ в моделях Фридмана). Однако Милн сразу указывал на то, что структура пространства и шкала времени могут быть введены только наблюдателями, связанными с ядрами галактик. Из соображений простоты наблюдатель должен выбрать евклидово пространство, а шкала времени должна быть установлена так, чтобы воспринимать других эквивалентных наблюдателей движущимися равномерно (кинематическое время). Таким образом, при применении космологического принципа сразу выполняется закон Хаббла. Далее становится возможным вывести закон динамики для свободной частицы и закон притяжения для двух пробных тел.

Интересно, что выведенные таким образом законы переходят в классические в «модифицированном» времени, которое связано с кинематической шкалой логарифмическим преобразованием. Таким образом Милн указал на различие лабораторного и космологического времени. На самом деле идея о различии двух шкал времени высказывалась им в 1935 году [8], тогда за ней последовала мысль о возможном изменении гравитационной постоянной с космологическим временем. Именно эта идея произвела на Дирака большое впечатление, побудив его к развитию гипотезы больших чисел.

Второй попыткой было предложенное в 1990-х годах нашим соотечественником физиком и математиком В.Л. Рвачёвым «неархимедово» исчисление. В нём постулировалось максимальное число R_0, и переопределялись отношения между значениями на числовой прямой, так что новое множество $\overline{\mathbb{R}}$ оказывалось связанным с прямой действительных чисел $\mathbb{R}$ логарифмическим преобразованием

$$r = \tau(r_*) = \ln^{-1}\left|\frac{1+\alpha}{1-\alpha}\right| \ln\left(\frac{1+\alpha r_*}{1-\alpha r_*}\right),$$

где $\alpha = \frac{1}{R_0}$, $r \in \mathbb{R}$, $r_* \in \overline{\mathbb{R}}$.

Нетривиальным достижением было применение этого формализма к пересчёту больших расстояний в космологии в статье 1994 года [9]: это привело к возникновению эффекта космологического красного смещения во Вселенной с предельным расстоянием. Рвачёв неоднократно подчёркивал соответствие этого результата идеям Милна. Позже на основе этого результата в работе [3] был вычислен параметр замедления, который совпал с наблюдаемым значением при $R_0 = R_g$ (R_g – гравитационный радиус наблюдаемой Вселенной).

Тем не менее до настоящего момента не было показано, как в реляционном подходе может быть получено подобное преобразование, поскольку прежде всего необходимо решить более фундаментальную задачу вывода понятия длины.

Задача вывода понятия длины

Вопрос о происхождении понятия длины рассматривался на протяжении многих столетий и носил по большей части философский характер. В XIX веке Б. Риманом в своём известном докладе «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» было высказано соображение, созвучное основной идее вывода понятия длины в современном реляционном подходе. Риман писал [10]: «…или то реальное, что создаёт идею пространства, образует дискретное многообразие, или же нужно пытаться объяснить возникновение метрических отношений чем-то внешним – силами связи, действующими на это реальное». В рамках реляционного подхода следует считать пространственно-временные понятия абстракцией от всей совокупности отношений между источниками и поглотителями электромагнитного излучения – заряженными частицами. В этой связи уместно вспомнить высказывание П.К. Рашевского, приведённое в конце его монографии «Риманова геометрия и тензорный анализ» [11]: «Возможно, что и сам четырёхмерный пространственно-временной континуум с его геометрическими свойствами окажется в конечном счёте образованием, имеющим статистический характер и возникающим на основе большого числа простейших физических взаимодействий элементарных частиц». Это высказывание максимально близко соответствует методике решения данной задачи в реляционном подходе. Но ни Рашевский, ни другие исследователи, высказывавшие сходные идеи, не конкретизировали механизмы получения классических пространственно-временных понятий и понятия длины в частности.

Чтобы понять, какой механизм используется в рамках реляционного подхода для вывода классического понятия длины, рассмотрим систему, состоящую из частиц, способных испускать и поглощать электромагнитное излучение в заданных спектрах. Говоря об испущенном, но не поглощённом излучении, мы имеем в виду излучение всех возможных энергий, которое может быть испущено и принято частицами системы.

Выделим одну из частиц и зададимся целью вычислить амплитуду поглощаемого ею (всевозможного) излучения от остальных частиц системы. Чтобы это сделать, для каждой пары излучатель-поглотитель необходимо просуммировать вклады излучений всех энергий спектра, на которых возможно поглощение. Если спектр непрерывный, то такое суммирование перейдёт в интегрирование.

В классической физике, когда мы знаем парные расстояния между поглотителем и другими частицами, мы вычисляем по ним разности фаз и пользуемся принципом Гюйгенса для того, чтобы определить каждое слагаемое в сумме или вид подынтегрального выражения. В случае непрерывного спектра и одинаковой амплитуды излучения амплитуда поглощения частицей a от излучателя b будет пропорциональна интегралу

$$f_{ab} \sim \int e^{ik(r_a - r_b)} dk \equiv 2\pi\delta(r_a - r_b),$$

то есть будет максимальной пока и поскольку для каждой энергии парное расстояние $r_{ab} = r_a - r_b$ остаётся неизменным.

В реляционном подходе фактически решается обратная задача: парное расстояние неизвестно, его необходимо найти, зная, что искомое число должно быть одним и тем же для всех энергий и амплитуда поглощения при этом должна иметь максимум. Принцип Гюйгенса возникает в теории систем отношений при описании электромагнитного излучения, и в его выражение входит фазовый множитель (фазовое отношение) в виде $e^{i\Delta\phi_{ab}}$, являющийся априорно заданным в реляционном подходе (в отличие от априорно заданного расстояния в классической физике).

Таким образом, искомое расстояние необходимо «извлечь» из фазового множителя. Однако для одной пары частиц результат не будет однозначным, поскольку фаза определена с точностью до целого числа n периодов 2π. На этом этапе необходимо вспомнить, что аналогичная ситуация имеет место для любой пары частиц в системе. А поскольку для каждой частицы заданы фазовые отношения ко всем остальным частицам, то сами фазы (и, в частности числа n) должны быть согласованы между собой так, чтобы их парные разности соответствовали заданным. Здесь тоже может остаться неоднозначность: может существовать несколько вариантов согласования фаз (несколько наборов чисел n и значений от 0 до 2π). Это приведёт к нескольким вариантам определения расстояний из фазовых множителей. Поэтому необходимо будет брать статистику по таким конфигурациям и смотреть, какая из них после подстановки разностей фаз в принцип Гюйгенса даст максимальную амплитуду поглощения для соответствующей пары частиц. В результате удастся определить классические парные расстояния.

Описанная процедура называется «декомпактификацией» расстояний. Она была рассмотрена на простой модели системы из нескольких атомов водорода в работе [12].

Космологические шкалы расстояний

При декомпактификации на получаемые классические расстояния будут оказывать влияние свойства спектра излучающих и поглощающих частиц. В спектре атома имеются два фактора, которые будут оказывать такое влияние. Во-первых, это ограниченность спектра порогом ионизации. Во-вторых – сгущение уровней к порогу ионизации. Эти факторы означают, что, с одной стороны, в системе таких частиц имеется минимальная длина волны испускаемого и поглощаемого электромагнитного излучения, с другой – в испущенном, но не поглощённом излучении преобладают б*о*льшие длины волн. Эти обстоятельства приведут к тому, что конфигурации частиц с б*о*льшими парными расстояниями будут реализовываться чаще (по крайней мере при одинаковых фазах для разных энергий). Если связать масштаб шкалы расстояний (величину масштабного отрезка) с количеством реализуемых конфигураций, то данная ситуация будет означать неравномерность шкалы.

Это можно проиллюстрировать, построив для пары частиц распределение числа конфигураций по интервалам расстояний (рис. 1).

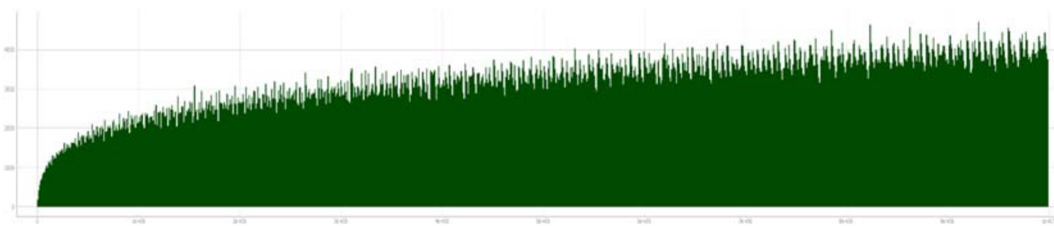

Рис. 1. Распределение числа конфигураций для пары частиц при постоянных фазах для каждого акта излучения и поглощения. Расстояния от 0 до 1 см

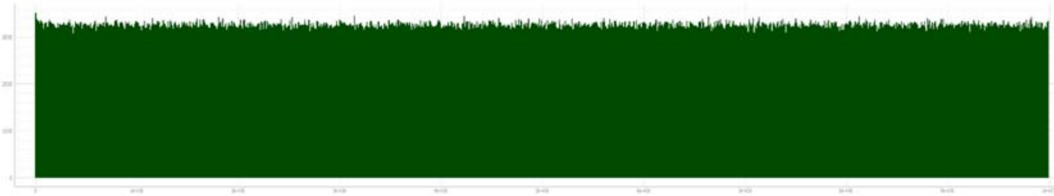

Рис. 2. Распределение числа конфигураций для пары частиц при случайных фазах с равномерным распределением в интервале от 0 до 2π для каждого акта излучения и поглощения. Расстояния от 0 до 1 см

Распределение действительно получается неравномерным. Причём данный вид распределения сохраняется при разных предельных значениях горизонтальной оси. Этот результат получен в предположении одинаковых фаз для разных энергий. Если же задать случайные фазы, равномерно распределённые по интервалу от 0 до 2π, то и распределение конфигураций становится равномерным (рис. 2).

Аналогичные построения были проведены для различных предельных значений горизонтальной оси, и результат оставался прежним. Это даёт основание полагать, что и на космологических масштабах ситуация не изменится, поскольку форма распределения зависит только от свойств спектра и распределения фаз, а эти параметры по условию задачи не меняются.

Данный результат представляется наиболее естественным, если интерпретировать его как шкалу сопутствующих расстояний. В самом деле, приведённое здесь расстояние для каждой конфигурации вычисляется между одной и той же парой частиц, то есть концы воображаемой линейки, отмеряющей это расстояние, всегда остаются закреплёнными на этих частицах.

На основе приведённого примера можно рассмотреть другую ситуацию, строя распределение уже для трёх частиц: пары частиц с фиксированным (сопутствующим) расстоянием Δr и ещё одной частицы-наблюдателя, находящейся на сопутствующем расстоянии r от одной из частиц пары (примем $r \gg \Delta r$). Фиксированное расстояние Δr примем за новый масштабный отрезок. Из-за названных свойств спектра, а также с учётом закона БСКО ранга (2,2), который необходимо учитывать для рассматриваемой тройки частиц, число конфигураций с сопутствующими парными расстояниями $(r, \Delta r, r + \Delta r)$, вообще говоря, будет отличаться для разных r. Тогда можно ввести новую шкалу, в которой масштабный отрезок будет зависеть от сопутствующего расстояния r и будет определяться следующим образом:

$$\Delta r_* = \frac{1}{N_0} \Delta r N(r),$$

где $N(r)$ – функция распределения числа конфигураций в зависимости от r, а N_0 – константа нормировки. При этом расстояние по новой шкале будет определяться как

$$r_* = \frac{1}{N_0} \sum_i \Delta r N_i \to \frac{1}{N_0} \int_0^r N(r) dr,$$

где N_i – число конфигураций в интервале от r_i до r_{i+1}, а сумма ведётся по конечному числу интервалов.

Расстояние r_* естественно интерпретировать как собственное, поскольку оно имеет смысл для конкретной частицы-наблюдателя и определяется суммой отрезков сопутствующих расстояний $\Delta r \ll r$, а статистическая сумма $\frac{1}{N_0} \sum_i N_i$ по сути является масштабным фактором. Это соответствует определению собственного расстояния, принятого в классической космологии [13].

Построим распределение конфигураций $N_i(r_i)$ в соответствии с названными выше условиями для трёх атомов водорода. Будем сразу использовать равномерное распределение фаз в интервале от 0 до 2π для каждого акта излучения (рис. 3).

Рис. 3. Распределение числа конфигураций для тройки частиц при случайных фазах с равномерным распределением в интервале от 0 до 2π для каждого акта излучения и поглощения. $\Delta r = 100$ нм, r_i от 100 нм до 10 мкм

Так же как и в случае со шкалой сопутствующих расстояний, полученный вид распределения не зависит от масштаба (рис. 4).

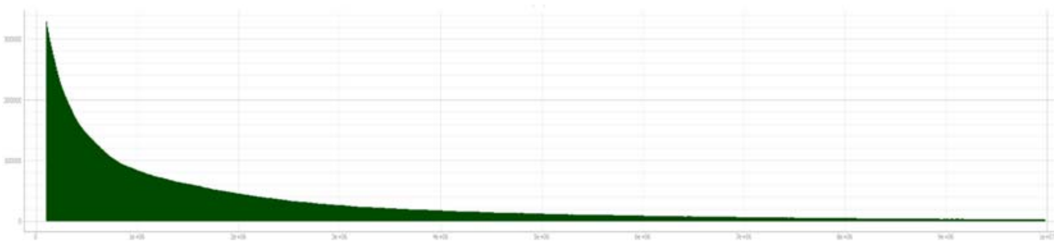

Рис. 4. Распределение числа конфигураций для тройки частиц при случайных фазах с равномерным распределением в интервале от 0 до 2π для каждого акта излучения и поглощения. $\Delta r = 100$ мкм, r_i от 100 мкм до 1 см

Это позволяет переносить полученные результаты на космологию и проводить параллель с «неархимедовыми» координатами, введёнными В.Л. Рвачёвым. Полученная функция распределения является убывающей, что означает, что конфигурации частиц с бо́льшими собственными расстояниями до наблюдателя реализуются реже. Если функция убывает быстрее, чем $1/r$, то будет существовать предельное значение расстояния

$$R_0 = \frac{1}{N_0} \int_0^\infty N(r)dr.$$

Здесь необходимо сделать оговорку, что вблизи нуля ввиду наличия минимальной длины волны в спектре функция не будет стремиться к бесконечности, поэтому следует ожидать, что интеграл в этом случае будет сходящимся.

Укажем также на то, что, по всей видимости, суммирование в $\sum_i \Delta r N_i$ можно переопределить как «неархимедову» операцию, перенеся в её определение функцию $N(r)$, так что

$$r_* = \frac{1}{N_0}\sum_i \Delta r N_i \equiv \sum_i^* \Delta r_*.$$

Детальное исследование этого вопроса выходит за рамки настоящей работы, однако уже сейчас можно утверждать, что реляционный подход позволяет предоставить обоснование результатов, полученных В.Л. Рвачёвым и использованных в настоящей работе для вычисления космологических параметров.

Обсуждение и выводы

Главной особенностью полученного в данной работе результата является демонстрация того, что классические расстояния действительно представляют собой статистический итог большого числа вкладов излучения, испускаемого и поглощаемого реальными атомами. Это в полной мере реализует идеи П.К. Рашевского о статистической природе геометрических понятий и о неединственности натурального ряда для пересчёта больших расстояний [14].

Кроме того, следуя предложенному подходу, удаётся найти выражение для предельного расстояния, которое можно сопоставить радиусу космологического горизонта. Оно также определяется всей совокупностью элементарных вкладов испущенного излучения и фактически зависит от свойств спектров частиц. Данный результат в полной мере отражает выполнение принципа Маха в реляционном подходе. В этой связи, однако, остаётся открытым вопрос о связи R_0 с фундаментальными константами, фигурирующими в формуле Эддингтона

$$m_e = \frac{e^2\sqrt{N}}{c^2 R},$$

где R – радиус наблюдаемой Вселенной, а $N \approx 10^{80}$ – число Эддингтона, сопоставляемое с числом барионов в наблюдаемой Вселенной.

Эта связь, вероятно, могла бы обнаружиться, если указать значение нормировочной константы N_0. Физический смысл этой величины – число конфигураций частиц, реализующих расстояние $r = \Delta r$. Поскольку в спектре существует минимальная длина волны, должно существовать минимальное значение Δr и соответствующее ему максимальное значение N_0. Поскольку число конфигураций связано с числом самих рассматриваемых частиц, то следует ожидать связь N_0 с числом Эддингтона.

Также необходимо напомнить, что все приведённые здесь рассуждения справедливы не только для пересчёта расстояний, но и для промежутков времени. Для этого достаточно произвести соответствующую замену в выражении для фазы перед декомпактификацией. Результаты будут полностью аналогичны полученным для расстояний, поэтому они здесь в явном виде не приводятся. В этой связи можно полагать, что реляционный подход может предоставить обоснование не только для космологической модели Рвачёва, но и модели Милна, в которой, как было упомянуто во введении, приводились две шкалы времени, одна из которых была логарифмической.

Как известно, независимость формы распределения от масштаба является свойством логарифмической шкалы. Поэтому одним из приоритетных вопросов является аналитическое доказательство этого свойства для полученного распределения, поскольку сейчас результаты, показанные на рис. 3 и 4, получены при численном моделировании. При решении этой задачи интересно проследить связь с законом Бенфорда, устанавливающим логарифмическое распределение первых цифр в значениях разного рода величин, измеряемых в природе.

Эти и некоторые другие вопросы являются предметом дальнейших исследований.

Литература

1. *Владимиров Ю. С.* Реляционная картина мира. Кн. 1: Реляционная концепция геометрии и классической физики / Ю.С. Владимиров. М.: ЛЕНАНД, 2021. 224 с.
2. *Vladimirov Yu. S., Molchanov A. B.* Relational justification of the cosmological redshift // Gravitation and Cosmology. 2015. Vol. 21, no. 4. P. 279–282.
3. *Владимиров Ю. С., Молчанов А. Б.* Обобщенный закон Хаббла в реляционном подходе // Пространство, время и фундаментальные взаимодействия. 2017. № 2. С. 24–35.
4. *Molchanov A. B.* Temperature of interstellar space revisited in relational approach // Gravitation and Cosmology. 2020. Vol. 26, no. 1. P. 70–74.
5. *Molchanov A. B.* Relational Substantiation of the Hubble Law // Метафизика. 2022. № 2 (44). С. 30–39.
6. *Владимиров Ю. С.* Классическая теория гравитации: учебное пособие / Ю.С. Владимиров. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 264 с.
7. *Мартюшев Л., Бирзина А.* Эдвард Милн: его судьба, космология и неравномерное время // Наука и Жизнь. 2017. № 2. С. 10–18.
8. *Milne E. A.* Relativity, Gravitation and World Structure. Oxford University Press, 1935.
9. *Рвачев В. Л.* Неподвижные объекты дальнего космоса имеют красное смещение своих спектров // Препринт АН Украины. Ин-т проблем машиностроения. 1994. № 377.
10. *Риман Б.* О гипотезах, лежащих в основании геометрии // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: сб. М.: Мир, 1979. С. 18–33.
11. *Рашевский П. К.* Риманова геометрия и тензорный анализ. М.: Наука, 1967. С. 658.
12. *Молчанов А. Б.* Принцип Маха и понятие длины в реляционном подходе // Основания фундаментальной физики и математики: материалы IV Российской конференции (ОФФМ-2020) / под ред. Ю.С. Владимирова, В.А. Панчелюги. М.: РУДН, 2020. С. 38–42.
13. *Вайнберг С.* Гравитация и космология. Принципы и приложения общей теории относительности / пер. с англ. В.М. Дубровика и Э.А. Тагирова; под ред. Я.А. Смородинского. М.: Мир, 1975. 696 с.
14. *Рашевский П. К.* О догмате натурального ряда // Успехи математических наук. 1973. Т. XXVIII, вып. 4 (172). С. 243–246.

COSMOLOGICAL SCALE FACTOR IN THE RELATIONAL APPROACH

A.B. Molchanov*

Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
2 build., 1 Leninskiye Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract. In recent years, within the framework of the relational approach to the description of space-time and physical interactions, a number of studies have been carried out to substantiate the observed cosmological effects. In particular, it has been shown that the cosmological redshift described by the linear part of the Hubble law and the cosmic microwave background can be the result of contributions from emitted but not absorbed electromagnetic radiation. To describe the nonlinear part of the Hubble law, a logarithmic coordinate transformation was used, associated with the existence of a limiting observed distance, expressed by the gravitational radius of the observable Universe. The use of such a transformation must be justified by showing how it can be obtained in the derivation of space-time concepts for a system of a large number of emitters and absorbers. The article provides this rationale: it is shown that when deriving classical distances in the relational approach, there are two possibilities for determining the distance scale, they correspond to the scales of comoving and proper distances in cosmology, while the scale factor is expressed through the partition function of the configurations of emitters and absorbers.

Keywords: relational approach, Hubble's law, cosmology

* E-mail: alexeybm2009@gmail.com