УДК 524.822, 827, 854; 521.933, 934; 530.12

КОСМОЛОГИЧЕСКОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ КАК СЛЕДСТВИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВРЕМЕННОГО ИНТЕРВАЛА В РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ

В. В. Попов
РФЯЦ-ВНИИЭФ

Предложена модель Вселенной с уменьшающейся по мере возрастания космического времени *t* продолжительностью временного интервала Δt, взятых по атомным часам. Исходя из этой модели показано, что проявление эффекта космологического красного смещения связано с нелинейностью временной шкалы, но не с доплеровским эффектом, и как следствие получена зависимость Хаббла для параметра красного смещения, приведен ряд других зависимостей и оценок.

Введение

В стандартном представлении космологическое красное смещение, связанное с общим расширением Вселенной, обусловлено совместным действием эффектов Доплера и Эйнштейна, причем при $D < 10^3$ Мпк основную роль играет эффект Доплера [1, с. 478–488]. В этой работе эффект Эйнштейна рассматривать не будем, т. е. пренебрежем отличием напряженности поля тяготения в точках испускания и регистрации излучения.

Объяснение величин наблюдаемого космологического красного смещения действием эффекта Доплера может быть правомерно только на небольших космологических расстояниях, на которых еще можно рассматривать окрестности пространства-времени наблюдателя как локально-инерциальную систему координат, в которой законы природы сохраняют форму, придаваемую им специальной теорией относительности. Расчет по измеренным величинам красного смещения с помощью формулы эффекта Доплера скоростей перемещения тел, находящихся за пределами указанной окрестности, неверен по сути.

Пусть тела покоятся в расширяющейся с постоянным хаббловским ускорением Вселенной в сопутствующих им системах координат [2, с. 364], т. е. движутся вместе с ней со скоростью ее расширения. Пусть каждому телу приданы его собственные часы, ход которых был синхронизирован в некоторый ранний момент космического времени *t*. Поскольку тела и их часы находятся в «свободном падении» относительного фона реликтового излучения, то ход часов остается синхронизированным для любых *t*, продолжительность их временного интервала постоянна, шкала *t* линейна относительно Δt, тела движутся по инерции по отношению друг к другу. Но если ускорение движения относительно фона реликтового излучения возрастает с ростом *v*, то синхронизация хода часов существует для всех текущих значений *t*, но шкала *t* нелинейна относительно любого фиксированного Δt.

В предлагаемой работе с этим эффектом нелинейности , а не с эффектом Доплера, связывается наблюдаемое космологическое красное смещение.

Замедление вращения Земли вокруг своей оси и неравномерность шкалы космического времени

В работе [3] была выдвинута гипотеза, объясняющая эффект «долгопериодического замедления скорости вращения Земли вокруг своей оси» (составляющий ~0,75 с/год [3, 4]) уменьшением продолжительности временного интервала в системе Солнце–Земля, взятого по атомным часам. Ее движением относительно фона реликтового излучения с хаббловским ускорением. Эта гипотеза позволила получить меру величины постоянной Хаббла для движения относительно фонового излучения (H≃31,0 км/с·Мпк) способом, не зависящим от шкалы расстояний. Очевидно, что величина ускорения при измерении в относительном движении двух тел, каждое из которых движется относительно фонового излучения с ускорением H_0, должна быть в два раза больше. Таким образом, $H_{\text{отн}} = 2H_0$, $H \simeq 62{,}0$ км/с·Мпк. В работе [3] было предположено, что скорость движения относительно фона реликтового излучения системы Солнце–Земля *v* и продолжительность временного интервала Δt, взятого по атомным часам, связаны отношением:

$$v\Delta t = \text{const}. \quad (1)$$

Отсюда без учета величины второго порядка малости

$$\delta t/\Delta t = -\Delta v/v,$$

где δt – приращение продолжительности временного интервала; Δv – приращение скорости.
Или

$$\Delta\dot{t}/\Delta t = -\dot{v}/v\ ,$$

где Δt, v – хорошо дифференцируемые по некоторому параметру n функции.

По многолетним наблюдениям [4] экспериментально получена величина $\Delta\dot{t}$=0,75 с/год. Поэтому

$$-\Delta\dot{t}/\Delta t = p = 0{,}75/31556925{,}9747 = 2{,}38\cdot 10^{-8}. \quad (2)$$

(Здесь приведена продолжительность эфемеридного года в секундах).

Таким образом,

$$\dot{v} = pv \text{ и } \Delta\dot{t} = -p\Delta t\ . \quad (3)$$

Если мы из общих соображений примем, что величина $p(n)$ = const, то заключим, что $\dot{v}$ линейно возрастет с увеличением v.

Из зависимости (3) вытекает, что шкала космического времени t нелинейна относительно фиксированного Δt. Введем линейную временную шкалу n следующим образом. Известно, что в отличие от продолжительности года по атомным часам (год а.с.), определяемой как продолжительность 31556925,9747 атомных секунд (определяемых, в свою очередь, в СИ как продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими подуровнями основного состояния цезия-133), которая по сравнению с продолжительностью эфемеридного года уменьшается ежегодно на 0,75 с, продолжительность эфемеридного года (или продолжительность годового обращения центра масс Земли вокруг Солнца) остается практически неизменной (за столетие эта продолжительность возрастает меньше, чем на полсекунды [5, с. 185]). (Различие в продолжительности этих годов и приводит к виртуальному эффекту «долгопериодического замедления вращения Земли» [3]). Поэтому естественно ввести линейную относительно Δn шкалу n как шкалу числа оборотов Земли вокруг Солнца (шкалу оборотов) и представить на ней величины $\Delta t(n)$, $v(n)$ и $t(n)$.

Далее будем полагать, что величина v равна величине скорости расширения Вселенной. Приравнивая друг другу скорости движения системы Солнце–Земля относительно фона реликтового излучения и скорость расширения Вселенной, мы исходим из того, что $\dot{v}$ (3) хорошо совпадает по величине с постоянной Хаббла (в [3] получена величина $H_0 = \dot{v}_0 \simeq 10^{-2}$ м/с·год, что соответствует величине $H_0 \simeq 31{,}0$ км/с·Мпк).

Поскольку увеличение v в пространстве-времени Вселенной имеет объемный характер, то будем считать, что и уменьшение продолжительности временного интервала Δt космического времени t также имеет объемный характер.

Продолжительность временного интервала Δt и космическое время t в линейной шкале

Направим ось n шкалы оборотов из настоящего (для которого определены величины Δt_0 и v_0) в прошлое и этим определим знаки $\Delta\dot{t}$ и $\dot{v}$ следующим образом (3):

$$\Delta\dot{t}/\Delta t = p;\ \dot{v}/v = -p\ . \quad (4)$$

Если величина $\Delta t_0 = 1$ год а.с. современной эпохи равномерно уменьшается по направлению настоящее-будущее на 0,75 с/год, т. е. если для целых n ряд $\{\Delta t_n\}$ образует арифметическую прогрессию, то, очевидно, уже через $\sim 4\cdot 10^7$ оборотов Δt уменьшится до нуля, а это невозможно.

Но если ряды $\{\Delta t_n\}$ и $\{v_n\}$ для целых n являются геометрической прогрессией с модулем $(1 + p)$, т. е. если

$$\Delta t_n = \Delta t_0 (1+p)^n \text{ и } v_n = v_0 (1+p)^{-n}\ , \quad (5)$$

где n взято в направлении настоящее-прошлое, то абсурдного результата $\Delta t = 0$ можно избежать для любых n, в том числе отрицательных, т. е. в будущем.

Если перейти к непрерывным функциям $\Delta t(n)$ и $v(n)$ на $\{n\}$-множестве континуум, и поскольку p мало, то

$$\Delta t(n) = \Delta t_0 \exp(pn) \text{ и } v(n) = v_0 \exp(-pn)\ . \quad (6)$$

Дифференцируя (6), получаем соотношения (4). Следовательно, закон геометрической прогрессии (5) справедлив как решение для (4). Конечно, тот же результат (6) можно получить, интегрируя (4) на $\{n\}$.

Интегрируя функцию $\Delta t(n) = \Delta t_0 \exp(pn)$, получаем в шкале оборотов

$$t(n) = \Delta t_0 \left(\exp(pn) - 1\right)/\,p \quad (7)$$

– зависимость продолжительности для космического времени, взятой по атомным часам, от n – числа оборотов.

Для $\Delta t_0 = 1$ год а.с. современной эпохи в шкале оборотов

$$t(n) = \left(\exp(pn) - 1\right)/\,p\ . \quad (8)$$

Далее будем полагать, что $\Delta n = 1 = \Delta t_0 = 1$ год а.с. современной эпохи.

Зависимость параметра космологического красного смещения z от числа оборотов по шкале оборотов. Закон Хаббла

Если предположить, что в расширяющейся с возрастающим ускорением (3) Вселенной в сопутствующей системе отсчета движущегося вместе с ней со скоростью ее расширения тела сохраняется условие $c(n) = c_0 \equiv$ const (здесь $c(n)$ – скорость света для некоторого $n \neq 0$, c_0 – скорость света при $n = 0$, и n направим из настоящего в будущее), то придем к следующему выводу: координатная сетка, связанная с телом и движущаяся вместе с ним, непрерывно сжимается. Поэтому расстояния, включая те, которые характеризуют собственные размеры тела, непрерывно возрастают. Можно прийти к ошибочному заключению, что на тело действуют растягивающие его усилия, неизвестные антигравитационные силы. И это потому, что величина $c(n)\Delta t(n) = c_0\Delta t(n)$ в сопутствующей системе отсчета непрерывно убывает.

Но если в сопутствующей системе отсчета тела $c(n)\Delta t(n) \equiv \text{const}$ (причем увеличение $c(n)$ так же, как и уменьшение $\Delta t(n)$ имеет объемный характер), то его координатная сетка не сжимается. (Но оно «падает» с увеличивающимся ускорением относительно фона реликтового излучения, поскольку величина Δt убывает с ростом t. При этом для этого тела $\Delta t(n)$ и $t(n)$ нелинейны относительно n.)

Тождество $c(n)\Delta t(n) \equiv \text{const}$ оставляет законы физики инвариантными в преобразованиях относительно n, поэтому принцип постоянства скорости света во Вселенной следует понимать только в смысле постоянства величин произведения $c(n)\Delta t(n)$. Соотношения, которые являются следствием специальной теории относительности, т. е. полученные при условии, что $c(n) = c_0 \equiv \text{const}$, справедливы только для достаточно малого пространственно-временного объема Вселенной. Это касается и доплеровской зависимости

$$v_{\text{набл}} / v = (1+v_r)^{-1}(1+v^2)^{1/2},$$

где v_r – радиальная составляющая вектора v; $v = \bar{v} / c_0$ – приведенная к постоянной скорости света скорость перемещения наблюдаемого объекта.

Из соотношений $v(n)\Delta t(n) \equiv \text{const}$ (1) и $c(n)\Delta t(n) \equiv \equiv \text{const}$ следует, что

$$\beta = v(n)/c(n) = v_0 / c_0 = (4/3)\cdot 10^{-3} = \text{const}, \qquad (9)$$

величина β не зависит от n.

В шкале оборотов в направлении настоящее-прошлое поэтому

$$c(n) = c_0 \exp(-pn). \qquad (10)$$

Определим величину параметра космологического красного смещения как

$$z = \left(\tau(n)\tau_0\right) / \tau_0, \qquad (11)$$

где $\tau(n)$ – период монохроматической волны, излученной источником при некотором n; τ_0 – то же, но принимаемый приемником при $n = 0$.

Подберем для источника и приемника величины продолжительностей временных интервалов $\Delta\tilde{\tau}(n)$ и $\Delta\tilde{\tau}_0$ такие, чтобы

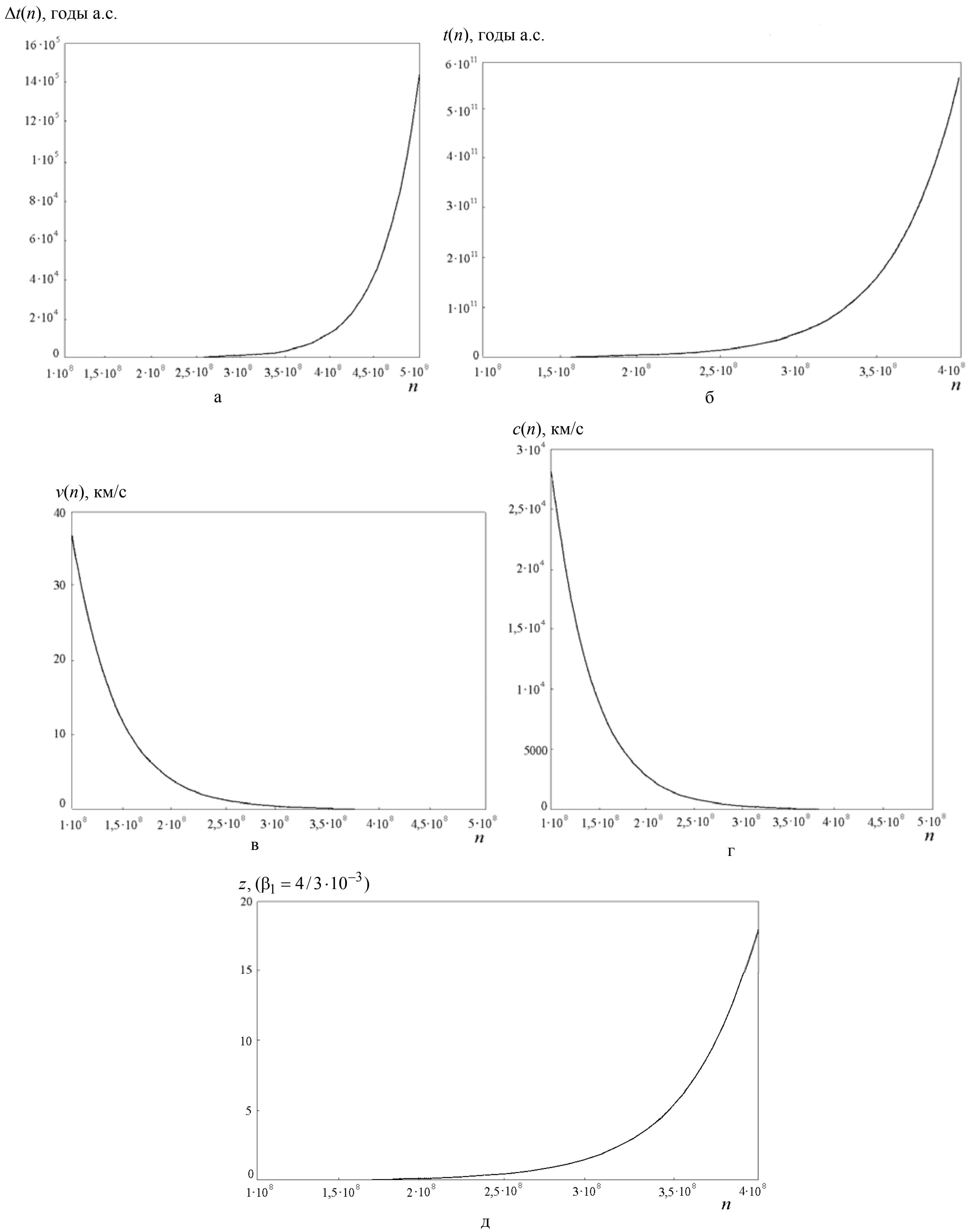
$$c(n)\tau(n) = v(n)\Delta\tilde{\tau}(n) \text{ и } c_0\tau_0 = v_0\Delta\tilde{\tau}_0 . \qquad (12)$$

Величины $\Delta\tilde{\tau}(n)$ и $\Delta\tilde{\tau}_0$, очевидно, соотносятся согласно (6)

$$\Delta\tilde{\tau}(n) = \Delta\tilde{\tau}_0 \exp(pn). \qquad (13)$$

Результаты расчетов величин $\Delta t(n)$, $t(n)$, $v(n)$, $c(n)$ и $z(n)$ – продолжительности временного интервала, космического времени, скорости расширения Вселенной, скорости света и параметра красного смещения в зависимости от числа оборотов Земли вокруг Солнца (настоящее-прошлое)

$n\cdot 10^{-8}$	$\Delta t(n) = \exp(pn)$	$t(n) = (\exp(pn))$	$v(n) = v_0\exp(-pn)$	$c(n) = c_0\exp(-pn)$	$z = \beta[\exp(pn)-1]$, $\beta_1 = (4/3)\cdot 10^{-3}$ (H_0 = 31,0 км/с·Мпк)
	(годы а.с.)		км/с		
1	10,805	$4{,}12\cdot 10^8$	37,02	$2{,}777\cdot 10^4$	0,013
1,2	17,392	$6{,}887\cdot 10^8$	22,999	$1{,}725\cdot 10^4$	0,022
1,4	27,994	$1{,}134\cdot 10^8$	14,289	$1{,}072\cdot 10^4$	0,036
1,6	45,06	$1{,}851\cdot 10^9$	8,877	$6{,}658\cdot 10^3$	0,059
1,8	72,53	$3{,}005\cdot 10^9$	5,515	$4{,}136\cdot 10^3$	0,095
2,0	116,746	$4{,}863\cdot 10^9$	3,426	$2{,}57\cdot 10^3$	0,154
2,2	187,917	$7{,}854\cdot 10^9$	2,129	$1{,}596\cdot 10^3$	0,249
2,4	302,475	$1{,}267\cdot 10^{10}$	1,322	991,816	0,402
2,6	486,871	$2{,}041\cdot 10^{10}$	0,822	616,179	0,648
2,8	783,679	$3{,}289\cdot 10^{10}$	0,51	382,81	1,044
3,0	$1{,}261\cdot 10^3$	$5{,}296\cdot 10^{10}$	0,317	237,826	1,681
3,2	$2{,}03\cdot 10^3$	$8{,}527\cdot 10^{10}$	0,197	147,752	2,706
3,4	$3{,}268\cdot 10^3$	$1{,}373\cdot 10^{11}$	0,122	91,793	4,356
3,6	$5{,}261\cdot 10^3$	$2{,}21\cdot 10^{11}$	0,076	57,028	7,013
3,8	$8{,}468\cdot 10^3$	$3{,}557\cdot 10^{11}$	0,047	65,429	11,289
4,0	$1{,}363\cdot 10^4$	$5{,}726\cdot 10^{11}$	0,029	22,011	18,171



Графические зависимости $\Delta t(n)$, $t(n)$, $v(n)$, $c(n)$ и $z(n)$: а – $\Delta t(n)$ – продолжительность временного интервала; n – число оборотов Земли вокруг Солнца (настоящее-прошлое); б – $t(n)$ –космическое время; в – $v(n)$ – скорость расширения Вселенной; г – $c(n)$ – скорость света; д – z – величина параметра космологического красного смещения

Используя соотношения (11), (12), (13), получим

$$z = \beta\,[\exp(pn) - 1]. \qquad (14)$$

Поскольку здесь $\dot{v}_0 = -H_0 = -pv_0$, то из соотношений (14) и (8) получим

$$z = \left(\exp(pn) - 1\right) v_0 / c_0 = H_0 t(n) / c_0. \qquad (15)$$

Получена аналитическая зависимость (15), связывающая параметр космологического красного смещения z и расстояние удаления источника от приемника $t(n)$ (в годах а.с.), получен закон Хаббла, выведенный им на основе результатов наблюдений [1, с. 488]. Космологическое красное смещение не проявляет себя через эффект Доплера – через эффект увеличения (в зависимости от скорости удаления) длины волны излучения удаляющегося от наблюдателя светящегося объекта. Оно проявляется через увеличение продолжительности временного интервала объекта, удаляющегося от наблюдателя по направлению настоящее-прошлое вдоль оси n шкалы оборотов. При этом удалении скорость движения объекта относительно фона реликтового излучения уменьшается.

В таблице приведены результаты расчетов величин $\Delta t(n)$, $t(n)$, $v(n)$, $c(n)$ и z (при значении $\beta_1 = (4/3)\cdot 10^{-3}$ (H_0 = 31,0 км/с·Мпк). Значения n взяты в интервале $n = 10^8 ... 4\cdot 10^8$. Из таблицы видно, что возрасту Солнечной системы (~$4{,}6\cdot 10^9$ лет а.с.) соответствует значение $n \approx 2\cdot 10^8$. Примерно возрасту видимой Вселенной (судя по измеренным величинам $z_{\max} \approx 4$ [1, с. 486]) соответствует величина $n = 3{,}4\cdot 10^8$ ($\beta_1 = (4/3)\cdot 10^{-3}$). Величина β, очевидно, требует уточнения.

На рисунке представлены в виде графиков зависимости $\Delta t(n)$, $t(n)$, $v(n)$, $c(n)$ и $z(n)$.

Обратим внимание на следующее. Для реликтового излучения $z \cong 1500$ [1, с. 488]. Это значит, что возраст Вселенной (т. е. возраст с момента образования этого излучения, измеренный в шкале оборотов) составляет $n = 5{,}85\cdot 10^8$ ($\beta = (4/3)\cdot 10^{-3}$). Для этого n при ($\beta = (4/3)\cdot 10^{-3}$) величина $v(n) \approx 0{,}36$ м/с, а величина $c(n) \approx 270$ м/с. И, наконец, оценивая величину размера Вселенной на момент рождения излучения по соотношению $R(n)/R_0 \approx c(n)/c_0$, (где $R_0 = c_0 \Delta t_0 n$), получим: $R(n) \approx 1{,}6\cdot 10^8$ км, т. е. величина $R(n)$ сопоставима с радиусом орбиты Земли.

Заключение

В статье как развитие гипотезы об уменьшении продолжительности временного интервала, изложенной в [3], предложена модель Вселенной. Эта модель с уменьшающейся (по мере возрастания величины космического времени t) продолжительностью временного интервала Δt. Эта модель позволила без привлечения эффекта Доплера связать общепринятое представление о фоне реликтового излучения как неподвижной системы отсчета в пространстве для скоростей тел, движущихся в расширяющейся Вселенной, с явлением космологического красного смещения и аналитически получить формулу закона Хаббла для z – параметра красного смещения.

В статье введена линейная временная шкала, основанная на постоянстве продолжительности эфемеридного года – «шкала оборотов», в которой получены функциональные зависимости нелинейных в ней величин $v(n)$, $\Delta t(n)$ и $t(n)$. В предложенной модели Вселенной в направлении для n настоящее-прошлое продолжительности $\Delta t(n)$ и $t(n)$ экспоненциально возрастают, а величины $v(n)$ и $c(n)$ экспоненциально убывают. Согласно модели, несмотря на то, что, согласно закону Хаббла, при больших $z \simeq 4$ расстояние до объекта наблюдения в годах по атомным часам становится, казалось бы, неправдоподобно большим ($\sim 5\cdot 10^{10}$ лет и более), по линейной шкале оборотов это расстояние всего лишь примерно в полтора раза больше возраста Солнечной системы. По величине параметра красного смещения для реликтового излучения ($z \approx 1500$) удалось оценить возраст Вселенной. Этот возраст по линейной шкале оборотов составляет $\sim 5{,}85\cdot 10^8$. Для сравнения: возраст Солнечной системы составляет $n \approx 2\cdot 10^8$ оборотов ($\sim 4{,}6\cdot 10^9$ лет по атомным часам). И поскольку мы приняли, что один оборот равен по продолжительности одному году по атомным часам в современную эпоху, то возраст Вселенной по линейной шкале составляет всего лишь $\sim 5{,}85\cdot 10^8$ лет современной эпохи, но этот же возраст по нелинейной шкале составляет $\sim 10^{14}$ лет в истекших годах. Тем не менее по линейной временной шкале возраст Вселенной лишь ~ в 3 раза больше возраста Солнечной системы.

Список литературы

1. Физическая энциклопедия. Т. 2. М.: Советская энциклопедия, 1990.
2. Вайнберг С. Гравитация и космология. Волгоград: Платон, 2000.
3. Попов В. В. Связь между среднегодовой величиной долгопериодического замедления вращения Земли вокруг своей оси и постоянной Хаббла // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Теоретическая и прикладная физика. 2004. Вып. 3. С. 51–53.
4. Соотношения между TAI и UTC, вплоть до 28 февраля 2001, ftp://hpiers.obspm.fr/iers/bul/bulc/UTC-TAI.history.
5. Хауз Д. Гринвичское время и открытие долготы. М.: Мир, 1983.

Статья поступила в редакцию 07.04.2006.