

УДК 52.54

Оценка локального параметра Хаббла по тепловой эволюции Земли и Марса

Думин Юрий Викторович^{1, 2(*)}

dumin@pks.mpg.de

Храмова Елизавета Гивиевна³

sinop@yandex.ru

Свирская Людмила Моисеевна^{4,5}

svirskayalm@mail.ru

Савиных Евгений Станиславович¹

z-0000001@hotmail.com

¹ГАИШ МГУ, Москва, Россия²ИКИ РАН, Москва, Россия³ИЗМИРАН, Москва, Россия⁴ЮУрГУ, Челябинск, Россия⁵ЮУрГГПУ, Челябинск, Россия

Аннотация. Исходя из представления о том, что в рамках космологических моделей с доминированием «темной энергии» можно было бы ожидать проявления хаббловского расширения на достаточно малых (межпланетных) масштабах, сделана попытка оценить величину параметра Хаббла по тепловой эволюции Земли и Марса в течение последних 4 млрд. лет. Основной идеей такого анализа является учет изменения потока солнечного излучения, поступающего на эти планеты, за счет космологического увеличения радиусов их орбит и последующее сравнение расчетов с данными планетологии. Найденные таким способом значения локального параметра Хаббла оказываются достаточно большими — 130–150 км/с/Мпс для орбиты Земли и 170–200 км/с/Мпс для Марса, т. е. в 2–3 раза больше общепринятого межгалактического значения. Обсуждается вопрос об интерпретации этих величин.

Ключевые слова: локальное хаббловское расширение, темная энергия, эволюция Земли, эволюция Марса

Введение. Вопрос о возможности существования хаббловского расширения на достаточно малых (например, межпланетных) масштабах обсуждается уже свыше 90 лет [1], однако остается нерешенным вплоть до настоящего времени. Особую актуальность эта проблема приобрела в начале 2000-х годов, когда основной парадигмой в космологии стали модели с доминирующим вкладом «темной» энергии (Λ -члена) — так как темная энергия распределена в пространстве идеально однородно, то можно ожидать, что создаваемое ею хаббловское расширение будет проявляться даже на очень малых масштабах [2].

В работах М. Кризека и Л. Сомера [3, 4] было указано, что одним из проявлений локального эффекта Хаббла должно быть его влияние на тепловой режим Земли в течение всего периода ее геологической и биологической эволюции. В частности, если постулировать поддержание постоянной температуры земной поверхности на интервале времени порядка 4 млрд лет, то тре-

буемый для этого локальный параметр Хаббла оказывается равным примерно половине его стандартного межгалактического значения, что выглядит несколько странным. Цель настоящего исследования — выйти за пределы предположения о постоянстве температур планет, используя для этого более современные данные о температурах ранней Земли и Марса, и тем самым точнее оценить соответствующие им параметры Хаббла.

Методы и материалы; результаты. Исходя из уравнения теплового баланса планеты, орбита которой испытывает космологическое расширение, обусловленное темной энергией [5], можно найти, при каком значении локального параметра Хаббла температура планеты имела бы то или иное значение в прошлом:

$$H^{(loc)} = \frac{4,96}{t} \left[\ln(L(t)/L_0) - 4 \ln(T_s(t)/T_{s0}) \right] h, \quad (1)$$

где L — светимость Солнца, T_s — температура поверхности планеты, $h = 100$ км/с/Мпс, и t — время, измеряемое в млрд. лет, которое следует брать со знаком минус, если оно отсчитывается в обратном направлении. Напомним, что современное значение параметра Хаббла на межгалактических масштабах $H_0 \approx 0,7 h$, а при приближенных оценках для времени $t \approx -4$ млрд. лет можно брать $L(t)/L_0 \approx 0,7$.

Как вытекает из современных данных палеохимии и палеобиологии [6], температура на Земле 3,5–4 млрд. лет назад могла быть гораздо выше современной ($T_{s0} \approx 15^\circ\text{C} = 288$ К) и доходить до $T_s \approx 70^\circ\text{C} = 343$ К; при этом из формулы (1) получается $H^{(loc)} \approx 1,3\text{--}1,5 h$ (т. е., в 2 раза больше современного межгалактического значения). Что же касается Марса, то в настоящее время температура его поверхности составляет $T_{s0} \approx -63^\circ\text{C} = 210$ К; однако имеются убедительные свидетельства, что 3,7–4 млрд. лет назад на его поверхности текли реки, т. е., существовало значительное количество воды в жидком состоянии, так что $T_s \geq 0^\circ\text{C} = 273$ К. При этом из формулы (1) получается еще большее значение: $H^{(loc)} \approx 1,7\text{--}2 h$.

Заключение. Найденные значения локального параметра Хаббла, в два и более раз превосходящие его современную межгалактическую величину, на первый взгляд выглядят довольно странными. Одна из очевидных причин их появления могла бы быть связана со слишком грубым характером произведенных выше оценок, а именно, с предположениями о не зависящей от времени поглощающей способности (альбедо) планет и неизменной эффективности парникового эффекта в их атмосферах.

С другой стороны, не исключена и космологическая интерпретация полученных величин. Прежде всего, нужно отметить, что имеющиеся теоретические расчеты в предположении, что локальный эффект Хаббла связан только с темной энергией [7], дают лишь нижнюю оценку на отношение $H^{(loc)}/H_0$. Строгих же ограничений сверху не существует, так как обычная (агрегированная) материя в принципе тоже может давать свой вклад на малых масштабах,

причем этот вклад может оказаться даже больше, чем от темной энергии. Кроме того, не исключено, что аномально большие значения локального параметра Хаббла могут быть связаны с эффектом «ускоренно раскручивающейся спирали», который был получен в общерелятивистских расчетах модельной задачи [8, 9] о движении пробной частицы в поле центральной точечной массы, погруженной в однородный космологический фон, сформированный Λ -членом и обладающий асимптотикой Робертсона — Уолкера на бесконечности.

Список источников

- [1] McVittie G.C. The Mass-Particle in an Expanding Universe. Mon. Not. Royal Astron. Soc., 1933, vol. 93, art. no. 325.
- [2] Dumin Yu.V. Local Hubble Expansion: Current State of the Problem. Cosmology on Small Scales. Proc. Int. Conf. Prague, Inst. Math. Czech Acad. Sci., 2016, vol. 23, <https://arxiv.org/abs/1609.01793>
- [3] Krizek M. Dark Energy and the Anthropic Principle. New Astron., 2012, vol. 17.
- [4] Krizek M., Somer L. Manifestations of Dark Energy in the Solar System. Grav. Cosmol., 2015, vol. 21, art. no. 59.
- [5] Dumin Yu.V., Savinykh E.S. Krizek — Somer Anthropic Principle and the Problem of Local Hubble Expansion. Grav. Cosmol., 2025, vol. 31, art. no. 205.
- [6] Gaucher E.A., Govindarajan S., Ganesh O.K. Palaeotemperature Trend for Precambrian Life Inferred from Resurrected Proteins. Nature, 2008, vol. 451, art. no. 704.
- [7] Dumin Yu.V. Is the Hubble Constant Scale-Dependent? Grav. Cosmol., 2018, vol. 24, art. no. 171.
- [8] Dumin Yu.V. Comment on Progress in Lunar Laser Ranging Tests of Relativistic Gravity. Phys. Rev. Lett., 2007, vol. 98, art. no. 059001.
- [9] Dumin Yu.V. Lambda Perturbations of Keplerian Orbits in the Expanding Universe. Grav. Cosmol., 2020, vol. 26, art. no. 307.

Estimating the Local Hubble Parameter from the Thermal Evolution of Earth and Mars

Dumin Yurii Viktorovich^{1,2(*)}

dumin@pks.mpg.de

*Khramova Elizaveta Givievna*³

sinop@yandex.ru

Svirskaya Ludmila Moiseevna^{4,5}

svirskayalm@mail.ru

*Savinykh Eugen Stanislavovich*¹

z-0000001@hotmail.com

¹SAI MSU, Moscow, Russia

²IKI RAN, Moscow, Russia

³IZMIRAN, Moscow, Russia

⁴SUSU, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Assuming that Hubble expansion should manifest itself even at the sufficiently small (interplanetary) scales in the framework of dark-energy-dominated cosmological models, we try to estimate Hubble parameter from the thermal evolution of Earth and Mars

during the last 4 billion years. The basic idea of our analysis is taking into account the variations in solar irradiation arriving at these planets due to the cosmological expansion of their orbits and subsequent confrontation of these calculations with the planetological data. The corresponding values of the local Hubble parameter were found to be rather large: 130–150 km/s/Mpc for the orbit of Earth and 170–200 km/s/Mpc for Mars, i.e., 2–3 times greater than the commonly-accepted intergalactic value. Finally, we discuss a possible interpretation of these results.

Keywords: local Hubble expansion, dark energy, evolution of Earth, evolution of Mars

Introduction. The problem if Hubble expansion can exist at the sufficiently small (e.g., interplanetary) scales is discussed for over 90 years [1] but remains unsolved till now. This issue became especially topical in the early 2000's, when a new paradigm in cosmology was based on the models with dominant contribution by the dark energy (Λ -term): since the dark energy is distributed perfectly uniform everywhere in space, one can expect that the corresponding Hubble expansion will manifest itself even at very small scales [2].

As was pointed out in works by M. Krizek and L. Somer [3, 4], the local Hubble effect should affect a thermal regime of the Earth throughout the entire period of its geological and biological evolution. Particularly, if the Earth's surface temperature is assumed to be constant over the interval of approximately 4 billion years, then the required local Hubble parameter turns out to be about a half of the standard intergalactic value, which might look somewhat strange. It is the aim of the present work to go beyond the assumption of constant planetary temperature by employing more recent data on the temperatures of the early Earth and Mars and, thereby, to evaluate the corresponding Hubble parameters more accurately.

Methods and materials; results. Starting from the equation of heat balance of the planet whose orbit experiences the cosmological expansion caused by the dark energy [5], one can find a magnitude of the local Hubble parameter at which the planetary temperature would have a specified value in the past:

$$H^{(\text{loc})} = \frac{4.96}{t} \left[\ln(L(t)/L_0) - 4 \ln(T_s(t)/T_{s0}) \right] h, \quad (1)$$

where L is the solar luminosity, T_s is the temperature of the planetary surface, $h = 100$ km/s/Mpc, and t is the time measured in billion years, which should be taken with a negative sign if it is directed to the past. Let us remind that the present-day value of the Hubble parameter at intergalactic scales is $H_0 \approx 0.7 h$; and it is reasonable to take $L(t)/L_0 \approx 0.7$ for the approximate estimates at $t \approx -4$ bln. yr.

As follows from the modern data of paleochemisry and paleobiology [6], the Earth's temperature 3.5–4 bln. years ago could be substantially greater than today ($T_{s0} \approx 15^\circ\text{C} = 288$ K) and estimated as $T_s \approx 70^\circ\text{C} = 343$ K. Consequently, formula (1) gives $H^{(\text{loc})} \approx 1.3\text{--}1.5 h$ (i.e., two times greater than its contemporary intergalactic value). As regards Mars, its present-day surface temperature is $T_{s0} \approx -63^\circ\text{C} = 210$ K; but there is a clear evidence that rivers flowed across its surface

3.7–4 bln. years ago, i.e., there was a considerable volume of liquid water, so that $T_s \geq 0^\circ\text{C} = 273\text{ K}$. In such a case, formula (1) leads to the even greater value $H^{(\text{loc})} \approx 1.7\text{--}2\text{ h}$.

Conclusion. The above-mentioned values of the local Hubble parameter—exceeding its contemporary intergalactic value by two or more times—might look quite strange. One of the most evident reasons could be caused by the oversimplifications employed in our estimates, namely, the time-independent absorption properties (albedo) of the planets as well as a permanent efficiency of the greenhouse effect in their atmospheres.

On the other hand, there might be also a cosmological interpretation of these results. First of all, let us mention that the available theoretical calculations—based on the assumption that the local Hubble effect is caused solely by the dark energy [7]—give us only the lower limit on the ratio $H^{(\text{loc})}/H_0$. On the other hand, there is no a rigorous upper limit, because the ordinary (aggregated) matter, in principle, can also give contribution at the small scales; and this contribution might be even greater than the one from the dark energy. Besides, the surprisingly large values of the local Hubble parameter might be associated with the effect of “accelerated unwinding spiral”, which was derived in the general relativistic calculations of the model problem of motion of a test particle in the field of the central point-like mass embedded into the uniform cosmological background formed by the Λ -term and possessing the Walker–Robertson asymptotics at infinity [8, 9].

References

- [1] McVittie G.C. The Mass-Particle in an Expanding Universe. *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 1933, vol. 93, art. no. 325.
- [2] Dumin Yu.V. Local Hubble Expansion: Current State of the Problem. *Cosmology on Small Scales. Proc. Int. Conf. Prague, Inst. Math. Czech Acad. Sci.*, 2016, vol. 23, <https://arxiv.org/abs/1609.01793>
- [3] Krizek M. Dark Energy and the Anthropic Principle. *New Astron.*, 2012, vol. 17.
- [4] Krizek M., Somer L. Manifestations of Dark Energy in the Solar System. *Grav. Cosmol.*, 2015, vol. 21, art. no. 59.
- [5] Dumin Yu.V., Savinykh E.S. Krizek — Somer Anthropic Principle and the Problem of Local Hubble Expansion. *Grav. Cosmol.*, 2025, vol. 31, art. no. 205.
- [6] Gaucher E.A., Govindarajan S., Ganesh O.K. Palaeotemperature Trend for Precambrian Life Inferred from Resurrected Proteins. *Nature*, 2008, vol. 451, art. no. 704.
- [7] Dumin Yu.V. Is the Hubble Constant Scale-Dependent? *Grav. Cosmol.*, 2018, vol. 24, art. no. 171.
- [8] Dumin Yu.V. Comment on Progress in Lunar Laser Ranging Tests of Relativistic Gravity. *Phys. Rev. Lett.*, 2007, vol. 98, art. no. 059001.
- [9] Dumin Yu.V. Lambda Perturbations of Keplerian Orbits in the Expanding Universe. *Grav. Cosmol.*, 2020, vol. 26, art. no. 307.