

Жизнь под черным солнцем

Т. Опатрны, Л. Рихтерек и П. Бакала (Чехия)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

arXiv:1601.02897v1 [gr-qc] 12 Jan 2016

Life under a black sun

Tomáš Opatrný and Lukáš Richterek*

Faculty of Science, Palacký University, 17. Listopadu 12, 77146 Olomouc, Czech Republic

* tomas.opatrný@upol.cz ; lukas.richterek@upol.cz

Pavel Bakala†

*Institute of Physics, Faculty of Philosophy and Science,
Silesian University in Opava, Bezručovo nám. 13, CZ-74601 Opava, Czech Republic*

† pavel.bakala@fpf.slu.cz

(Dated: January 13, 2016)

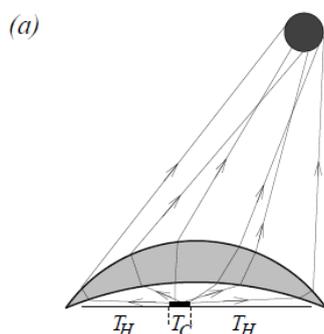
Жизнь на Земле возможна благодаря горячему Солнцу и холодному небу. Различие их температур делает возможным протекание процессов вдали от режима термодинамического равновесия благодаря росту энтропии повсюду во Вселенной. Поглощение фотонов от Солнца при температуре примерно ~ 6000 К и излучение примерно 20-кратного количества фотонов при ~ 300 К в холодное небо делает баланс достаточным для реализации сложного процесса, в ходе которого энтропия локально понижается. Как объяснил Эрвин Шрёдингер в своей книге “Что такое жизнь?” [1], организмы питаются отрицательной энтропией. Горячее Солнце и холодные небеса снабжают Землю негативной энтропией; таким образом, Земля продуцирует 5×10^{14} Дж/К энтропии каждую секунду [2].

Здесь авторы обыгрывают идею “перевернутого” мира, где солнце является холодным, а небо – “горячим”. Представим себе планету, обращающуюся вокруг черной дыры во вселенной, заполненной фоновым космическим излучением. Обитатели принимают низкоэнтропийную энергию от небосвода и излучают тепло в черную дыру. Персонажи недавно вышедшего фантастического фильма *Interstellar*, намеревавшиеся колонизировать планету, обращающуюся вокруг сверхмассивной черной дыры *Гаргантюа*, могли бы признать эти результаты вполне жизнеподобными (см. подробности в книге Кипа Торна “The Science of Interstellar” [4], научного консультанта и исполнительного продюсера фильма).

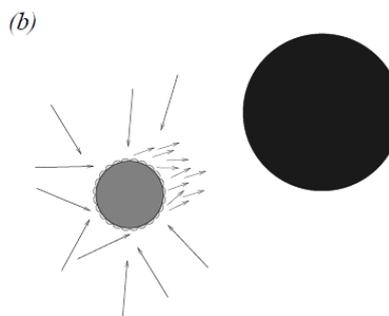
Эти размышления могли бы стать полезными при рассмотрении далекого будущего, когда звезды исчерпают свое ядерное топливо и погибнут, а черные дыры могут стать главными составляющими процесса производства энтропии [5, 6]. Такая энергетика может быть полезной до тех пор, пока расширение Вселенной не охладит космическое фоновое излучение ниже температуры излучения Хокинга черной дыры. После этого черная дыра становится чистым излучателем, и, таким образом, ближайшие обитатели снова могут жить под “горячим” солнцем, окруженные холодным небом. Недавно обсуждался [7]

механизм извлечения механической работы из излучения черных дыр; однако здесь фокус делается на не столь далеком будущем.

Представленный в статье анализ может также представлять интерес для обсуждения ранних этапов эволюции Вселенной: недавно Loeb [8] предположил, что существовала обитаемая эпоха, когда Вселенной было 15 миллионов лет, и фоновое излучение имело температуру 273 – 300 К, что обеспечивало каменным планетам жидкостно-водные химические процессы на их поверхностях. Это предположение было поддержано журналом Nature [9], где приводилась также некоторая критика, указывающая на то, что холодное небо термодинамически настолько же важно, насколько и горячее Солнце. Хотя нет сомнения, что для жизни необходим некоторый источник отрицательной энтропии, остается вопрос, насколько холодным должен быть приемник энергии. В статье обсуждается возможность того, что им может быть солнце типа черной дыры.



(a) Система взаимодействия излучателя с черной дырой. Стрелки показывают излучение от холодной поверхности с температурой T_c , направленное к черной дыре. Остальная поверхность с температурой T_H взаимодействует посредством излучения (не показано) с горячим небом.



(b) Схема термодинамической системы: планета, покрытая концентраторами света, получает высокоэнергичные фотоны (длинные стрелки) из окружающего пространства и посылает низкоэнергичные фотоны (короткие стрелки) в черную дыру.

Прежде, чем говорить о планете, следует представить себе сферическую оболочку, окружающую черную дыру. В 1960 Фримен Дайсон обсуждал возможную сигнатуру разумной внеземной жизни, которую могла бы построить структуру вокруг звезды, чтобы оценить всю их мощь [19]. Значительная тепловая энергия должна излучаться в виде инфракрасного излучения, доступного для наших обсерваторий. Мы можем обратить эту идею: жители оболочки получают энергию от фонового излучения и посылают отработанную тепловую энергию на центральную черную дыру (см. рис. 6).

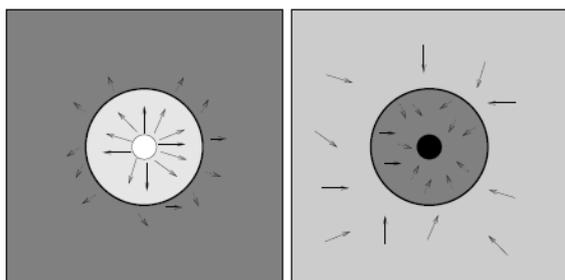


Схема сферы Дайсона и ее версия для черной дыры. В исходной версии оболочка принимает излучение, испущенное звездой, находящейся внутри, и посылает отработанное тепло в пространство. В версии для черной дыры оболочка поглощает фоновое космическое излучение, приходящее снаружи, и излучает отработанное тепло в черную дыру.

Для невращающихся черных дыр и существующей температуры космического микроволнового фонового излучения подходящая мощность кажется скорее небольшой для стандартов жизни нашей цивилизации. Можно рассуждать об удаленном будущем, когда водород в качестве ядерного топлива для звезд будет исчерпан, и черные дыры вместе с реликтовым излучением станут одним из немногих источников отрицательной энтропии. Тем не менее, при ускоренном расширении Вселенной космическое фоновое излучение охлаждается, так что может обеспечить еще меньше энергии. Можно также рассуждать о гипотетических землеподобных планетах, обращающихся вокруг первичных черных дыр на ранних стадиях существования Вселенной при комнатной температуре фонового излучения. Доступная мощность становится гораздо больше, и можно надеяться, что организмы со средствами фокусировки излучения получат возможность эволюционировать.

Ситуация становится другой для быстро вращающихся черных дыр Керра с планетами на близких к ним орбитах: гравитационный и доплеровский эффекты меняют температурную карту неба, обеспечивая гораздо большее поступление энергии. Хотя идея использования такой планеты, обращающейся вокруг черной дыры Керра, является привлекательной, условия на планете Миллера из фильма скорее оказываются весьма суровыми. Этого можно было ожидать: поскольку замедление времени на планете оказывается примерно 60000-кратным, астронавты должны принимать сигналы, приходящие издалека, в 60000 раз быстрее, чем они излучаются. Такой частотный сдвиг должен приводить к тому, что космическое фоновое излучение оказывается в 60000 раз горячее. Тем не менее, при удачно выбранной орбите немного дальше от Гаргантюа можно надеяться подобрать условия на небе значительно близкие к земным.

Ссылки

- ¹ E. Schrödinger, *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1944).
- ² The energy input/output of the Earth is the solar constant $\sim 1.36 \text{ kW/m}^2$ multiplied by the disk area of the Earth $\pi R^2 \approx 1.28 \times 10^{14} \text{ m}^2$, i.e., $1.74 \times 10^{17} \text{ J}$ each second; if this is divided by the temperature $\sim 300 \text{ K}$ we obtain the estimate of the entropy production.
- ³ The rotation parameter a (spin) is defined as a specific intrinsic angular momentum of the Kerr black hole^{24,25}. For $a = 0$ the Kerr solution merges into Schwarzschild non-rotating spherically symmetric spacetime (see eq. (A1)). Maximum possible “black hole” value $a = 1$ corresponds to an extreme Kerr black hole having the rotation velocity of the event horizon equal to the speed of light. The case of hypothetical naked singularities is described by $a > 1$.
- ⁴ K. S. Thorne, *The Science of Interstellar* (W. W. Norton & Company, New York, 2014).
- ⁵ S. Frautschi, “Entropy in an expanding universe,” *Science* **217** (4560), 593–599 (1982).
- ⁶ L. M. Krauss and G. D. Starkman, “Life, the universe, and nothing: life and death in an ever-expanding universe,” *Astrophys. J.* **531** (1), 22–30 (2000).
- ⁷ T. Opatrný and L. Richterek, “Black hole heat engine,” *Am. J. Phys.* **80** (1), 66–71 (2012).
- ⁸ A. Loeb, “The Habitable Epoch of the Early Universe,” *Int. J. Astrobiol.* **13** (4), 337–339 (2014). Also available as e-print [arXiv:1312.0613](https://arxiv.org/abs/1312.0613) [astro-ph.CO].
- ⁹ Z. Merali, “Life possible in the early Universe,” *Nature* **504** (7479), 201 (2013).
- ¹⁰ S. W. Hawking, “Black holes and thermodynamics,” *Phys. Rev. D* **13** (2), 191–197 (1976).
- ¹¹ S. W. Hawking, “The quantum mechanics of black holes,” *Sci. Am.* **236**, 34–40 (1977).
- ¹² T. Markvart, “The thermodynamics of optical étendue,” *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **10**, 015008 (7pp) (2008).
- ¹³ R. Winston and J. M. Gordon, “Planar concentrators near the étendue limit,” *Opt. Lett.* **30** (19), 2617–2619 (2005).
- ¹⁴ I. I. Novikov, “The efficiency of atomic power stations (a review),” *J. Nucl. Energy* (1954) **7** (1–2), 125–128 (1958); transl. from *At. Energ.* **3**, 409 (1957).
- ¹⁵ F. L. Curzon and B. Ahlborn, “Efficiency of a Carnot Engine at Maximum Power Output,” *Am. J. Phys.* **43** (1), 22–24 (1975).
- ¹⁶ A. Bejan, “Entropy generation minimization: The new thermodynamics of finite-size devices and finite-time processes,” *J. Appl. Phys.* **79** (3), 1191–1218 (1996).
- ¹⁷ D. Raine and T. Edwin, *Black Holes: An Introduction* (Imperial College Press, London, 2009).
- ¹⁸ J. B. Hartle, *Gravity: An Introduction to Einstein’s General Relativity* (Addison Wesley, San Francisco, 2003).
- ¹⁹ F. J. Dyson, “Search for Artificial Stellar Sources of Infrared Radiation,” *Science* **131** (3414), 1667–1668 (1960).
- ²⁰ As shown in Ref. [30], the apparent angular size of a Schwarzschild black hole for a distant stationary observer is $2 \arccos \sqrt{1 - (2r/r^2)(1 - 2/r)}$, where r is the distance of the black hole center in units GM/c^2 . For $r \gg 1$ the angular size is the same as that of a sphere of radius $\sqrt{27GM}/c^2$ seen from the same distance.

- ²¹ O. James, E. von Tunzelmann, P. Franklin and K.S. Thorne. “Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie *Interstellar*,” *Classical Quant. Grav.* **32** (6), 065001 (2015). Also available as e-print [arXiv:1502.03808v2](https://arxiv.org/abs/1502.03808v2) [gr-qc].
- ²² M.H. Johnson and E. Teller, “Intensity changes in the Doppler effect,” *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **79** (4), 1340 (1982).
- ²³ B. Carter, “Global Structure of the Kerr Family of Gravitational Fields,” *Phys. Rev.* **174** (5), 1559–1571 (1968).
- ²⁴ C. W. Misner, K.S. Thorne, and J. A. Wheeler, *Gravitation* (W. H. Freeman, San Francisco, 1973).
- ²⁵ S. Chandrasekhar, *The mathematical theory of black holes* (Clarendon Press, Oxford, 1983).
- ²⁶ J.M. Bardeen, “A Variational Principle for Rotating Stars in General Relativity,” *Astrophys. J.* **162**, 71–95 (1970).
- ²⁷ J. Schee and Z. Stuchlík, “Optical Phenomena in the Field of Braneworld Kerr Black Holes,” *Int. J. Mod. Phys. D* **18** (6), 983–1024 (2009). Also available as e-print [arXiv:0810.4445](https://arxiv.org/abs/0810.4445) [astro-ph].
- ²⁸ S.U. Viergutz, “Image generation in Kerr geometry. I. Analytical investigations on the stationary emitter-observer problem,” *Astron. Astrophys.* **272**, 355–377 (1993).
- ²⁹ E. Teo, “Spherical Photon Orbits Around a Kerr Black Hole,” *Gen. Relat. Gravit.* **35** (11), 1909–1926 (2003).
- ³⁰ P. Bakala, P. Čermák, S. Hledík, Z. Stuchlík, and K. Truparová, “Extreme gravitational lensing in vicinity of Schwarzschild-de Sitter black holes,” *Cent. Eur. J. Phys.* **5** (4), 599–610 (2007). Also available as e-print [arXiv:0709.4274](https://arxiv.org/abs/0709.4274).
- ³¹ P. Bakala, K. Goluchová, G. Török, E. Šrámková, M.A. Abramowicz, F.H. Vincent, and G.P. Mazur, “Twin peak high-frequency quasi-periodic oscillations as a spectral imprint of dual oscillation modes of accretion tori,” *Astron. Astrophys.* **581**, A35 (2015). Also available as e-print [arXiv:1505.06673](https://arxiv.org/abs/1505.06673) [astro-ph.HE].