

## Оценка времени, необходимого для формирования у экзопланеты земного типа электростатической защиты от космической радиации

Д.М. Безверхняя

d.bezverkhnyaya@mail.ru

SPIN-код: 8238-7402

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Проанализировано влияние космических лучей на возможность существования жизни на экзопланетах земного типа, расположенных в зоне обитаемости. Установлено, что под действием космического излучения землеподобные планеты формируют собственную электростатическую защиту, экранирующую поверхность планеты от космической радиации. Рассчитано время, необходимое для формирования защитного электрического поля. Обнаружено, что под действием космических лучей в атмосфере планеты должны происходить грозовые явления, и рассчитана их интенсивность. Показано, что предсказываемые условия благоприятны для первичного синтеза химических элементов, необходимых для зарождения жизни. Полученные результаты позволяют уточнить соответствующий коэффициент уравнения Дрейка.

### Ключевые слова

Экзопланета, космические лучи, ионизирующее излучение, электростатическая защита, уравнение Дрейка, ионосфера, первичный химический синтез, внеземная жизнь

Поступила в редакцию 27.12.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

---

**Введение.** Согласно современным представлениям, возможности для зарождения жизни имеются не только на нашей планете: открытие большого числа экзопланет в обитаемой зоне [1] вызывает особый интерес у исследователей их потенциальной непригодности. При этом особые надежды связаны с экзопланетами земного типа, физические параметры которых (размер, масса, расстояние от звезды и т. п.) сходны с земными. Актуальность исследования «экзоземель» подтверждается присуждением в 2019 г. Нобелевской премии по физике за соответствующие теоретические исследования и непосредственное открытие экзопланеты на орбите солнцеподобной звезды [2]. Настоящая работа посвящена анализу возможности возникновения на землеподобной экзопланете физико-химических условий, благоприятных для зарождения жизни.

**Теоретический анализ.** Вместе с успехами в обнаружении новых землеподобных экзопланет в зоне обитаемости все большую остроту приобретает парадокс Ферми [3]: что же является неблагоприятным фактором, ограничивающим распространённость жизни во Вселенной? Экстраполируя околоземные данные на все землеподобные экзопланеты, можно, по-видимому, принять, что одним из наиболее неблагоприятных факторов для развития жизни служит космическая радиация. По данным спутников и высотных метеорологических зондов,

усредненный космический радиационный фон в окрестностях Земли практически однороден и представлен в основном протонной компонентой со средней интенсивностью  $I_0 \sim 1$  протон/(см<sup>2</sup>·с). Электронная составляющая, по видимому, имеет такой же порядок, однако ввиду малой массы покоя электрона почти целиком блокируется земной магнитосферой и внешними слоями атмосферы. Интенсивность ядерной составляющей по крайней мере на порядок меньше протонной, поэтому при оценочных расчетах ей можно пренебречь [4].

Таким образом, на поверхность Земли (сферы радиусом  $R = 6400$  км) ежесекундно поступает

$$N = I_0 S = I_0 \cdot 4\pi R^2 = 10^4 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (6,4 \cdot 10^6)^2 \approx 10^{19}$$

протонов, каждый из которых несет заряд  $q_0 = +1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, что увеличивает заряд планеты со скоростью

$$\dot{q} = Nq_0 = 10^{19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 1 \text{ Кл/с.} \quad (1)$$

Следовательно, можно ожидать, что по истечении некоторого времени  $T$  планета приобретет настолько высокий заряд, что космические лучи перестанут достигать ее поверхности, т. е. сформируется планетарное электростатическое поле, защищающее ее от космического излучения.

Оценим  $T$  из следующих соображений: известно [5], что средняя энергия протонов в космических лучах  $W_0 \sim 1$  ГэВ. Следовательно, протоны космических лучей будут достигать поверхности планеты до тех пор, пока их собственной энергии  $W_0$  достаточно для преодоления кулоновского отталкивания

$$A_0 = \int_{+\infty}^R (\mathbf{F} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r} = \int_{+\infty}^R (q_0 \mathbf{E} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}. \quad (2)$$

Для нахождения напряженности планетарного электростатического поля  $E$  используем закон Гаусса

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{Q}{\epsilon_0},$$

где в качестве гауссовой поверхности  $S$  выбрана сфера радиусом  $r > R$ , concentрическая с поверхностью планеты, заряд которой  $Q$ . В этом случае скалярное произведение превращается в обычное, поэтому в силу сферической симметрии получаем

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \oint_S E \cdot dS = E \oint_S dS = ES = E \cdot 4\pi r^2.$$

В этом случае формула Гаусса приобретает простой вид

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0},$$

откуда можно найти напряженность искомого планетарного поля

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Возвращаясь к выражению (2), получаем работу  $A_0$ , затрачиваемую протоном на преодоление кулоновского отталкивания:

$$A_0 = \int_{+\infty}^R (q_0 \mathbf{F} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r} = \int_{+\infty}^R -q_0 \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} r dr = -\frac{q_0 Q}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

При этом условии  $W_0 = A_0$  (см. формулу (2)) приобретает вид

$$Q = \frac{4\pi\epsilon_0 R W}{q_0},$$

откуда

$$T = \frac{Q}{\dot{q}} = \frac{4\pi\epsilon_0 R W}{q_0 \dot{q}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,4 \cdot 10^6 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1} \approx 10^6 \text{ с}, \quad (3)$$

что составляет величину порядка месяца. Таким образом, можно ожидать, что все известные землеподобные экзопланеты обладают естественной электростатической защитой от космической радиации.

**Обсуждение полученных результатов.** Обратим внимание на следующий принципиальный момент: очевидно, что формирование любой планеты занимает время, значительно большее определяемого по формуле (3). Возникает парадокс: почему космические лучи до сих пор достигают, например, земной поверхности? Остановимся на этом подробнее.

В отличие от массивных протонов, легкие электроны не могут преодолеть атмосферу и гасят свою кинетическую энергию в ее верхнем слое, формируя слой, насыщенный электронами. Таким образом, следует ожидать, что любая планета с газовой атмосферой окружена собственной ионосферой (образованной холодной электронной плазмой), экранирующей жесткое ультрафиолетовое излучение, разрушающее органические молекулы, необходимые для жизни. Насыщенность верхних слоев газовой планетарной оболочки электронами способствует формированию в верхней атмосфере отрицательно заряженных облаков, притягиваемых положительно заряженной поверхностью почвы, что создает вертикальную циркуляцию атмосферного воздуха. Такие отрицательно заряженные облака несут грозу среднегодовой интенсивности (1), электрические разряды которой (молнии) необходимы для первичного химического синтеза (см. классический эксперимент Миллера — Юри [6]). При этом присутствие электричества в атмосфере заставляет последнюю выступать в роли тепловой машины с электростатической внутренней энергией, идущей на «полезную работу» пассатов и муссонов, распределяющих органические молекулы по

всей поверхности планеты. Следовательно, экзоземли обладают физико-химическими условиями, необходимыми для зарождения и развития жизни.

**Заключение.** Подводя итоги, обратим особое внимание на предсказываемое наличие электронной ионосферы у землеподобных экзопланет. В этом случае экзопланеты земного типа должны давать характерный «металлический» сигнал в радиодиапазоне. Наличие такого сигнала предлагается использовать как дополнительный признак при использовании современных оптических методов поиска экзоземель [7–10].

### Литература

- [1] The habitable exoplanets catalog. *phl.upr.edu: веб-сайт*. URL: <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog> (дата обращения: 22.09.2021).
- [2] nobelprize.org: *веб-сайт Нобелевской премии*. URL: <https://www.nobelprize.org/> (дата обращения: 22.09.2021).
- [3] Парадокс Ферми. *elementy.ru: веб-сайт*. URL: [https://elementy.ru/trefil/21081/Paradoks\\_Fermi](https://elementy.ru/trefil/21081/Paradoks_Fermi) (дата обращения: 22.09.2021).
- [4] Прохоров А.М., ред. Физическая энциклопедия. Т. 2. М., Советская энциклопедия, 1990.
- [5] Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М., Мир, 1965.
- [6] Эксперимент Миллера — Юри. *elementy.ru: веб-сайт*. URL: [https://elementy.ru/trefil/21169/Eksperiment\\_MilleraYuri](https://elementy.ru/trefil/21169/Eksperiment_MilleraYuri) (дата обращения: 22.09.2021).
- [7] Космический телескоп CoRoT. *prokosc.ru: веб-сайт*. URL: <https://prokosc.ru/issledovaniya/kosmicheskij-teleskop-corot/> (дата обращения: 22.09.2021).
- [8] Орбитальный телескоп Кеплер. *prokosc.ru: веб-сайт*. URL: <https://prokosc.ru/issledovaniya/orbitalnyj-teleskop-kepler/> (дата обращения: 22.09.2021).
- [9] Космический телескоп Gaia. *prokosc.ru: веб-сайт*. URL: <https://prokosc.ru/issledovaniya/kosmicheskij-teleskop-gaia/> (дата обращения: 22.09.2021).
- [10] Телескоп TESS добился первого серьезного успеха. *elementy.ru: веб-сайт*. URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433596/Teleskop\\_TESS\\_dobilsya\\_pervogo\\_sereznogo\\_uspekha](https://elementy.ru/novosti_nauki/433596/Teleskop_TESS_dobilsya_pervogo_sereznogo_uspekha) (дата обращения: 22.09.2021).

**Безверхняя Дарья Михайловна** — студентка кафедры «Физика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Филатов Владимир Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

### Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Безверхняя Д.М. Оценка времени, необходимого для формирования у экзопланеты земного типа электростатической защиты от космической радиации. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-761>

## ESTIMATION OF THE TIME REQUIRED FOR THE FORMATION OF AN ELECTROSTATIC PROTECTION AGAINST COSMIC RADIATION ON AN EXOPLANET OF THE TERRESTRIAL TYPE

D.M. Bezverkhnyaya

d.bezverkhnyaya@mail.ru

SPIN-code: 8238-7402

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

### Abstract

The author analyzed the influence of cosmic rays on the possibility of life on terrestrial exoplanets located in the habitable zone. It has been established that under the influence of cosmic radiation, Earth-like planets form their own electrostatic protection, shielding the surface of the planet from cosmic radiation. The time required for the formation of a protective electric field has been calculated. It was found that under the action of cosmic rays in the atmosphere of the planet, thunderstorms should occur, and their intensity was calculated. It is shown that the predicted conditions are favorable for the primary synthesis of chemical elements necessary for the origin of life. The results obtained make it possible to refine the corresponding coefficient of the Drake equation.

### Keywords

Exoplanet, cosmic rays, ionizing radiation, electrostatic shielding, Drake equation, ionosphere, primary chemical synthesis, extraterrestrial life

Received 22.11.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

---

### References

- [1] The habitable exoplanets catalog. *phl.upr.edu: website*. URL: <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog> (accessed: 22.09.2021).
- [2] nobelprize.org: *website of the Nobel prize* (in Russ.). URL: <https://www.nobelprize.org/> (accessed: 22.09.2021).
- [3] Paradox Fermi [Fermi paradox]. *elementy.ru: website* (in Russ.). URL: [https://elementy.ru/trefil/21081/Paradoks\\_Fermi](https://elementy.ru/trefil/21081/Paradoks_Fermi) (accessed: 22.09.2021).
- [4] Prokhorov A.M., ed. Fizicheskaya entsiklopediya. T. 2 [Physical encyclopedia. Vol. 2]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1990 (in Russ.).
- [5] Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. The Feynman lectures on physics. Addison-Wesley, 1965. (Rus. ed.: Feynmanovskie lektzii po fizike. Moscow, Mir Publ., 1965.)
- [6] Eksperiment Millera — Yuri [Miller-Urey experiment]. *elementy.ru: website* (in Russ.). URL: [https://elementy.ru/trefil/21169/Eksperiment\\_MilleraYuri](https://elementy.ru/trefil/21169/Eksperiment_MilleraYuri) (accessed: 22.09.2021).
- [7] Kosmicheskij teleskop CoRoT [CoRoT space telescope]. *prokocmoc.ru: website* (in Russ.). URL: <https://prokocmoc.ru/issledovaniya/kosmicheskij-teleskop-corot/> (accessed: 22.09.2021).
- [8] Orbital'nyy teleskop Kepler [Kepler space telescope]. *prokocmoc.ru: website* (in Russ.). URL: <https://prokocmoc.ru/issledovaniya/orbitalnyj-teleskop-kepler/> (accessed: 22.09.2021).
- [9] Kosmicheskij teleskop Gaia [Gaia space telescope]. *prokocmoc.ru: website* (in Russ.). URL: <https://prokocmoc.ru/issledovaniya/kosmicheskij-teleskop-gaia/> (accessed: 22.09.2021).
- [10] Teleskop TESS dobilsya pervogo ser'eznogo uspekha [TESS telescope achieved its first solid success]. *elementy.ru: website* (in Russ.). URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433596/Teleskop\\_TESS\\_dobilsya\\_pervogo\\_sereznogo\\_uspekha](https://elementy.ru/novosti_nauki/433596/Teleskop_TESS_dobilsya_pervogo_sereznogo_uspekha) (accessed: 22.09.2021).

**Bezverkhnyaya D.M.** — Student, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Filatov V.V., Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Professor, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Please cite this article in English as:**

Bezverkhnyaya D.M. Estimation of the time required for the formation of an electrostatic protection against cosmic radiation on an exoplanet of the terrestrial type. *Politekhnikeskiiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 01(66). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-01-761.html> (in Russ.).