

Решение парадокса Ферми без допущений*

Березин Александр

Abstract—В этой работе высказывается предположение, что универсальное решение парадокса Ферми существует и может быть получено непосредственно из определения жизни и/или разума. Таким образом исключается необходимость в любых сомнительных предположениях, а также в антропном принципе. Предлагаемое решение накладывает верхний предел на рост цивилизаций, не зависящий от доступности ресурсов и биологических факторов.

I. Введение

Само собой очевидно, что бесконечный рост на конечной планете физически невозможен [1]. Однако, на первый взгляд, известные законы физики не накладывают ограничений на рост цивилизаций, способных к межзвездным перелетам, если не считать таковыми скорость света и общее количество доступной энергии во Вселенной. Это и приводит к парадоксу Ферми.

Даже при самых консервативных оценках скорости роста, цивилизация ненамного старше человеческой уже должна была оставить легко детектируемые следы, если не заселить всю галактику [2]. Отсутствие соответствующих наблюдений обычно объясняется одним из двух предположений: либо шансы появления достаточно развитой цивилизации чрезвычайно низки [3], либо такие цивилизации неизбежно уничтожают сами себя или друг друга [4].

В этой работе утверждается, что, даже при отсутствии внешних ограничивающих факторов, существует универсальный внутренний предел роста цивилизаций.

II. Модель

Чтобы формализовать парадокс Ферми, нужно задать хотя бы одно определение:

*Эта работа не поддерживалась никакой организацией.

обычно выбирается жизнь, разум или цивилизация. Однако, само проведение различий между этими понятиями может быть необоснованным допущением. В принципе возможны формы жизни, развившие способность к межпланетным, или даже межзвездным перелетам без использования цивилизации, или даже разума. Различие между разумными и неразумными организмами не обязано быть дискретным. Даже само понятие организма не обязано сохранять значение применительно к инопланетной жизни.

Чтобы избежать неявных предположений, основанных на разговорных определениях этих терминов, в этой работе для обобщения всех сущностей, к которым применим парадокс Ферми, будет использоваться слово “агент”.

Были опубликованы как минимум три попытки такого обобщения. Первая — книга “Что такое жизнь с точки зрения физики” Эрвина Шрёдингера [5], вторая — “Уравнение разума” Александра Висснера-Гросса [6], и третья — “Принцип свободной энергии” Карла Фристана [7]. Последняя будет рассмотрена в будущей версии этой работы.

Определение 2.1: [5] Система считается живой, если она может уменьшать свою внутреннюю энтропию или поддерживать ее на постоянном уровне за счет увеличения энтропии окружающей среды.

Определение 2.2: [6] Система считается разумной, если ее действия направлены на максимизацию свободы ее действий в будущем.

Утверждение 2.3: Любая живая система, стремящаяся неограниченно продлить свое существование, разумна.

Доказательство: С одной стороны, максимизация будущей свободы действий требует хотя бы поддержания внутренней энтропии

системы на некотором уровне. В противном случае увеличение энтропии приведет систему к неспособности совершения любых целенаправленных действий, а значит, ее будущая свобода действий будет стремиться к нулю независимо от внешних условий. Это означает, что любая разумная система также является живой.

С другой стороны, поддержание или уменьшение внутренней энтропии системы требует непрерывного увеличения ее внешней энтропии. Значит, когда используемый резервуар энергии израсходуется, система либо перестанет быть живой, либо найдет больше энергии в окружающей среде. Поскольку любое действие увеличивает энтропию, поиск дополнительной энергии эквивалентен максимизации будущей свободы действий. ■

Сущности, удовлетворяющие 2.1, но не 2.2, могут существовать, но не влияют на наблюдения, существенные для парадокса Ферми. Поэтому в рамках данной работы эти определения будут считаться эквивалентными.

Определим агента как сущность, удовлетворяющую 2.2 и, соответственно, 2.1; и пусть A — множество всех возможных агентов. Тогда цивилизация определяется как произвольное непустое подмножество A .

Следует отметить, что 2.2 — единственная предпосылка, задействованная в дальнейшем решении парадокса Ферми.

III. Решение

Утверждение 3.1: Максимизация будущей свободы действий эквивалентна накоплению максимального количества ресурсов.

Доказательство: Любое действие можно представить в виде комбинации перемещений. Перемещения с более низкого на более высокий энергетический уровень¹ расходуют энергию. Любой теоретически возможный процесс генерации энергии расходует тот или иной вид материи в качестве топлива. Количество доступного топлива

¹В данном контексте фраза “энергетический уровень” используется в общем смысле и не предполагает дискретности уровней.

также ограничивает скорость космических перелетов. Таким образом, любое действие расходует топливо, и максимизация количества топлива также максимизирует пространство доступных действий. ■

Считая, что самый эффективный реактор из возможных преобразует материю в энергию без отходов, термины “топливо” и “материя” можно использовать взаимозаменяемо, и именно так они будут использоваться далее в этой работе. Понятно, что материалы имеют и иные функции, отличные от топлива; они необходимы, чтобы поддерживать любой рост. Чтобы учесть это, будем говорить о ценности ресурсов, учитывая, что ценность коррелирует с физической массой.

Введем еще несколько определений для удобства.

Определение 3.2: Вес агента — это суммарная ценность всех ресурсов, которые он контролирует.

Определение 3.3: α -агент — это агент, имеющий наибольший вес в цивилизации.

Утверждение 3.4: Через достаточно долгое время все доступные ресурсы будут принадлежать α -агенту.

Доказательство: Рассмотрим N агентов, каждый из которых начинает с весом $w(n) = s - n * \epsilon$, где s — произвольная константа и ϵ — незначительное возмущение: $\epsilon \ll s$. Предположим, что все они используют весь свой вес, чтобы заполучить больше ресурсов из космоса. Также предположим, что их технологические решения одинаково эффективны.

Чтобы добраться до ресурсов в космосе, нужно изменить энергетический уровень. Поскольку энергия эквивалентна ценности, α -агент (которому соответствует $n = 0$) сможет изменить свой энергетический уровень сильнее, а значит, получить доступ к наибольшему количеству новых ресурсов. Теперь вес α -агента пропорционален s^2 , тогда как остальные агенты имеют вес $w(n) \propto (s - n\epsilon)^2$. Повторение этого процесса приведет к тому, что агент n на t -м шаге будет иметь вес $w(n) \propto (s - n\epsilon)^t$.

IV. Обсуждение

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{s^t}{\sum_{n=0}^N (s - n\epsilon)^t} = 1$$

При $t \rightarrow \infty$ доля ресурсов α -агента стремится к 1, даже если считать конкуренцию абсолютно честной. Это означает, что все доступные ресурсы в какой-то момент будут принадлежать α -агенту. ■

Утверждение 3.5: Если количество агентов в цивилизации больше одного, они будут стремиться централизовать хранение своих ресурсов.

Доказательство: Поскольку 2.2 не запрещает агентам воровать друг у друга, такое поведение будет предпочтительным, когда ценность полученного в результате конфликта больше ценности потерянного (в соответствии с 3.1). Зная это, агенты будут стремиться максимизировать ценность потерь любого другого агента в случае, если тот попытается атаковать, при этом минимизируя собственные затраты на это. Учитывая, что стоимость защиты региона пространства пропорциональна площади его поверхности, а количество ресурсов, которое можно хранить внутри пропорционально объему, простейшая геометрия показывает, что оптимальный метод хранения ресурсов — внутри одной сферической области. ■

Неизвестно, может ли цивилизация, состоящая из одного агента, развиваться до масштаба, существенного для парадокса Ферми. В данной работе такая возможность не рассматривается.

Утверждение 3.6: Для любой цивилизации, состоящей более чем из одного агента, существует верхняя граница количества ресурсов, которые она может собрать. Продолжение роста за эту границу приводит к коллапсу в черную дыру.

Доказательство: Как показано в 3.4, непропорционально большое количество ресурсов принадлежит одному агенту. Как показано в 3.5, все эти ресурсы будут плотно сложены достаточно плотно. Теперь проблема очевидна. В соответствии с теорией относительности, достаточно большая масса, уложенная достаточно плотно, превращается в черную дыру. ■

А. Как это объясняет отсутствие зондов вон Неймана?

Определение 4.1: Зонд вон Неймана (ЗВН) — это сущность, которая стремится разместить хотя бы одну копию себя на максимальном количестве звезд за минимально возможное время.

Утверждение 4.2: ЗВН являются агентами.

Доказательство: Очевидно, что уменьшение времени межзвездных перелетов требует увеличения количества ресурсов, расходуемых зондами. Предполагая, что добыча ресурсов и воспроизводство — быстрые процессы в сравнении с межзвездными перелетами, ЗВН будут стремиться собрать как можно больше ресурсов, прежде чем отправляться к следующей звезде. Как было показано в 3.1, это делает их агентами. ■

Таким образом, ЗВН сталкиваются с той же проблемой, что и цивилизации, даже если не являются ими изначально.

В. Как вообще можно переместить столько материи на такие расстояния, чтобы создать черную дыру?

Мы можем еще не знать, какие технологии будут использоваться для проектов такого масштаба; но мы можем точно сказать, что законы физики не являются ограничением.

С. Но если предсказать коллапс настолько легко, и разумная сущность будет полностью контролировать ситуацию, она его не допустит.

Ключевая идея в том, что ни один агент на самом деле не контролирует ситуацию. Напротив, это сложившаяся система контролирует агентов. Более интуитивным примером такой ситуации будет дилемма заключенных [8]. Та же идея может быть применена к государствам, накапливающим оружие, которое никогда не может быть применено; к поведению банкиров, предшествующему экономическому кризису и к мировой реакции на изменение климата. Вообще говоря, нет причин

утверждать, что системы, состоящие из рациональных агентов, в целом ведут себя рационально.

D. Но если коллапс так легко предсказать, наверняка достаточное количество индивидов сможет спастись?

Верно. Однако, все ресурсы, накопленные цивилизацией, будут необратимо уничтожены. Выжившим придется начинать с нуля. И когда они наконец восстановят все, что потеряли, история просто повторится.

E. Как один агент в цивилизации, состоящей из миллиардов или триллионов агентов, может реализовывать свою власть без помощи других? Если агенты, на которых он полагается, организуют восстание, они должны быть способны разделить ресурсы и избежать коллапса.

Утверждение 4.3: Вероятность успешного восстания против α -агента уменьшается по мере увеличения размера цивилизации (в смысле суммарной ценности).

Доказательство: Идеальное восстание — конфликт между α -агентом и всеми остальными агентами в цивилизации. Если считать, что оборонительным и атакующим системам для функционирования не требуется собственная агентность, то результат конфликта определяется только ресурсами, которые каждая из сторон готова на него потратить. С учетом 3.4, доля ресурсов под контролем α -агента увеличивается с ростом цивилизации. Рано или поздно его вес превзойдет суммарный вес всех остальных агентов, после чего успешное восстание станет невозможным. ■

Оно возможно до тех пор, но, как только рост возобновится, динамика 3.4 также продолжится, со временем возвращая распределение ресурсов к прежнему виду.

F. Если агенты должны максимизировать свою будущую свободу действий (2.2), почему они не будут учитывать вероятность коллапса?

Даже если они будут ее учитывать, это не должно влиять на их поведение. Если

они выберут приостановку роста ради безопасности, другой агент воспользуется этим, как описано в 3.5. Риск будет возрастать независимо от того, что они сделают. А, учитывая временной масштаб, на котором развивается межзвездная цивилизация, этот риск аккумулируется в гарантию коллапса.

G. Что, если цивилизация вынуждена непрерывно расходовать ресурсы, которые она накапливает?

Это действительно защитит цивилизацию от коллапса. Однако, единственное реализуемое условие, которое гарантирует такой расход — война с другой цивилизацией. Решение о том, будет ли это лучшей альтернативой, оставим читателю.

H. Если предположить, что человечество — не первая цивилизация в Млечном пути, должны ли мы наблюдать множество черных дыр с характеристиками, которые не соответствуют нашим моделям их естественного формирования?

Наблюдение черных дыр без априорного знания их местонахождения крайне затруднительно. Однако, в [9] высказывается предположение, что такие объекты действительно существуют.

I. Могут ли черные дыры от коллапсировавших цивилизаций объяснить темную материю?

Нет. Объяснение темой материи с использованием черных дыр на данный момент не считается жизнеспособным [10].

V. Следствия

A. Предполагая, что это решение верно, какие предсказания относительно будущего человечества оно позволяет сделать?

В ближайшем будущем отрасль частной космонавтики должна значительно увеличиться. Это вызовет огромный экономический рост, но также увеличит экономическое неравенство. В [11] уже предсказывалось, что одна лишь добыча

ценных минералов с околоземных астероидов может принести беспрецедентную прибыль за счет того, что многие минералы редки в земной коре, но изобилуют в мелких небесных телах. Полученный таким образом капитал может быть инвестирован в еще более амбициозные проекты, требующие постоянных человеческих поселений в космосе: например, постройка солнечных отражателей в земной точке L1 для уменьшения температуры планеты и компенсации изменения климата; создание мощных лазеров для ускорения межзвездных кораблей [12] или даже излечение старения как опосредованный результат модификации людей для длительной работы в условиях радиации и микрогравитации [13]. Медленно но верно, инженерные задачи, ранее казавшиеся непреодолимыми, станут реальными целями; такие задачи, как сбор достаточного количества материи для коллапса в черную дыру.

В. Может ли цивилизация предотвратить свой коллапс?

Два решения были предложены в IV-E и IV-G. Третье решение может следовать из теоретической возможности для единичных цивилизаций преодолеть свои экономические стимулы. Даже если они сами выживут, другие неконтролируемо расширяющиеся цивилизации все равно будут представлять угрозу их существованию. Лучшим решением для них будет сдерживание более молодых цивилизаций силой, реализуя что-то наподобие “Гипотезы зоопарка” [14].

Все эти возможности устанавливают свои пределы для роста, и, соответственно, сами являются решениями парадокса Ферми.

Источники

- [1] Donella H. Meadows, Jørgen Randers, and Dennis L. Meadows. *The limits to growth: the 30-year update*. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vt, 2004.
- [2] F. Valdes and R. A. Freitas, Jr. Comparison of reproducing and nonreproducing starprobe strategies for galactic exploration. *Journal of the British Interplanetary Society*, 33:402–406, November 1980.
- [3] Peter Ward. *Rare earth : why complex life is uncommon in the universe*. Copernicus, New York, 2000.
- [4] G. D. Brin. The Great Silence - the Controversy Concerning Extraterrestrial Intelligent Life. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 24:283–309, September 1983.
- [5] Erwin Schrödinger. *What is life? the physical aspect of the living cell ; with, Mind and matter ; & Autobiographical sketches*. Cambridge University Press, Cambridge ; New York, 1992.
- [6] A. D. Wissner-Gross and C. E. Freer. Causal Entropic Forces. *Physical Review Letters*, 110(16), April 2013.
- [7] Karl Friston. Life as we know it. *Journal of The Royal Society Interface*, 10(86), 2013.
- [8] W. Poundstone. *Prisoner’s Dilemma*. Oxford paperback. Oxford University Press, 1993.
- [9] B.P. Abbott et al. and LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters*, 116(6), February 2016.
- [10] Miguel Zumalacárregui and Uroš Seljak. Limits on Stellar-Mass Compact Objects as Dark Matter from Gravitational Lensing of Type Ia Supernovae. *Physical Review Letters*, 121(14), October 2018.
- [11] J.S. Lewis. *Mining the Sky: Untold Riches from the Asteroids, Comets, and Planets*. Helix books. Addison-Wesley Publishing Company, 1996.
- [12] Philip Lubin. A roadmap to interstellar flight. arXiv preprint arXiv:1604.01356, 2016.
- [13] Gianni Biolo, Martina Heer, Marco Narici, and Felice Strollo. Microgravity as a model of ageing. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 6(1):31–40, 2003.
- [14] John A. Ball. The zoo hypothesis. *Icarus*, 19(3):347 – 349, 1973.