

ЗОНА ОБИТАЕМОСТИ ДЛЯ СЛОЖНОСТИ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ГРАНИЦЫ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУР ВО ВСЕЛЕННОЙ

Автор: Кемаев Михаил Сергеевич

Студент 1 курса колледж

а Email: aawen7422@gmail.com

Telegram: [@Medvedofsa](https://t.me/Medvedofsa)

Статья 3 из исследовательской программы «Теория прогресса как квантовой фазы».

Предшествующие работы:

1. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17980169> – Принцип фундаментального тождества материи и прогресса
- . 2. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18314503> – Темная энергия и бесплодность войдов.

Аннотация

Вводится концепция «зоны обитаемости для сложности» (ЗОС) – диапазон значений плотности прогресса $p = \varepsilon/\hbar$, где ε – плотность энергии среды, а \hbar – постоянная Дирака. В этом диапазоне возможны возникновение и устойчивое существование иерархических систем, от галактик до биосфер. На основе принципа $dC/dt = E/\hbar$ определяются критические границы: нижняя (порог запуска эволюции) и верхняя (порог разрушения нестабильностью). Показано, что положение Земли в Галактике и в космологической истории не только попадает в ЗОС по потенциалу (p), но и характеризуется высокой реализованной сложностью (C_{gal}). Это даёт новое количественное обоснование антропного принципа. Концепция ЗОС применима для поиска экзопланет с потенциалом сложной эволюции и для анализа Великих фильтров.

Ключевые слова: теория сложности, зона обитаемости, антропный принцип, dC/dt , C_{gal} , Великий фильтр, эволюция Вселенной.

1. Введение

Понятие «зона обитаемости» в астробиологии исторически ограничивалось температурным диапазоном, допускающим жидкую воду. Однако жизнь – частный случай более общего процесса: роста структурной сложности. Современная космология сталкивается с аномалиями (JWST), указывающими на неполноту моделей, описывающих скорость космической эволюции. В данной работе предлагается расширить понятие обитаемости до эволюционной обитаемости, определив количественные границы скорости, с которой сложность

может расти в системе, не разрушаясь, и дополнив её мерой уже реализованной структурной сложности.

2. Теоретическая основа и метод расчёта

2.1. Плотность прогресса как потенциал эволюции Основой служит ранее предложенный принцип [1], связывающий скорость изменения меры сложности С системы с её полной энергией E: $dC/dt = E/\hbar$, (1) где \hbar – постоянная Дирака. Для астрофизических объектов $E = Mc^2 + U$, где U – энергия когерентности. Для перехода к характеристике среды разделим (1) на объём системы V: $(1/V) * (dC/dt) = \varepsilon/\hbar \equiv p$, (2) где $\varepsilon = \rho c^2$ – плотность энергии, ρ – массовая плотность. Величина p (размерность: $c^{-1} \cdot m^{-3}$) является мерой потенциала прогресса (максимально возможной скорости роста сложности) в единице объёма.

2.2. Реализованная сложность как мера эволюционного успеха Для оценки сложности, фактически накопленной галактикой за время её эволюции, используется параметризация из [1]: $C_{gal} = (M_*/10^{10})^{0.75} \times [1 + \ln(1 + t_{rot}/10^8)] \times (1 + t_{age})^{-0.7} \times [1 - S/S_{max}]$, (3) где:

- M_* – звёздная масса [в массах Солнца],
- t_{rot} – период вращения на характерном радиусе [годы],
- t_{age} – возраст системы [годы],
- S/S_{max} – относительная энтропия (мера неупорядоченности; $0 \leq S/S_{max} \leq 1$).

Отношение $\eta = C_{gal} / (\rho \cdot V \cdot t_{age})$ характеризует эффективность преобразования потенциала прогресса p в фактическую структурную сложность.

Именно комбинация p (потенциал) и C_{gal} (реализация) позволяет полноценно оценить пригодность среды для долгосрочной эволюции сложности.

3. Результаты: количественные границы ЗОС

3.1. Расчёт потенциала прогресса (p) для различных сред В Таблице 1 приведены расчёты $p = \varepsilon/\hbar$ для ключевых космологических сред и исторических эпох.

Таблица 1. Потенциал прогресса p для различных сред и эпох

Среда / Эпоха	ρ (г/см ³)	$\varepsilon = \rho c^2$ (Дж/м ³)	$p = \varepsilon/\hbar$ (с ⁻¹ ·м ⁻³)	$\log_{10}(p)$	Примечание
Войды	6×10^{-30}	5.4×10^{-10}	5.1×10^{24}	24.71	Нижняя граница ЗОС
Межгалактическая среда	1×10^{-29}	9×10^{-10}	8.5×10^{24}	24.93	

Активное ядро галактики (АЯГ)	-	10^{-4}	9.5×10^{29}	29.98	Стерилизующее излучение
Солнечная система	1×10^{-23}	9×10^3	8.5×10^{37}	37.93	Текущее положение
Галактический диск (Млечный Путь)	1×10^{-24}	9×10^4	8.5×10^{38}	38.93	
$z=2$ (пик звёздообразования)	10^{-23}	9×10^6	8.5×10^{40}	40.93	Исторически высокий уровень
$z=10$ (ранние галактики)	$\sim 10^{-22}$	9×10^7	8.5×10^{41}	41.93	
Область звездообразования	1×10^{-20}	9×10^8	8.5×10^{42}	42.93	Верхняя граница ЗОС

*Для АЯГ указана типичная плотность энергии излучения в области ~ 1 пк от ядра.

Примечание: $\hbar = 1.054 \times 10^{-34}$ Дж·с, $c = 3 \times 10^8$ м/с.

3.2. Определение границ ЗОС по потенциалу (p)

- Нижняя граница ЗОС (p_{\min}): $p_{\min} \sim 10^{25} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$. При $p < p_{\min}$ энергетический поток недостаточен для преодоления энтропийного барьера.
- Верхняя граница ЗОС (p_{\max}): $p_{\max} \sim 10^{43} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$. При $p > p_{\max}$ процессы нестабильности разрушают формирующиеся структуры.
- Опасная зона стерилизации: $p > 10^{30} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$ (АЯГ, вспышки сверхновых).
- Оптимальная зона ЗОС: $10^{37} < p < 10^{42} \text{ с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$.

3.3. Анализ реализованной сложности (C_{gal})

Для Солнечной окрестности в Млечном Пути ($M_* \approx 6.5 \times 10^{10} M_\odot$, $t_{rot} \approx 2.5 \times 10^8$ лет, $t_{age} \approx 1.3 \times 10^{10}$ лет, $S/S_{\max} \approx 0.3$) расчёт по (3) даёт: $C_{gal} \approx 4.6 \times 10^{-7}$ (безразмерная величина).

Эта величина, хотя и мала абсолютно, является относительно высокой по сравнению с молодыми или неупорядоченными системами. Для сравнения, оценка для типичной галактики в эпоху $z=2$ даёт C_{gal} на порядки ниже из-за малого t_{age} и высокого S/S_{\max} .

4. Обсуждение: космологическое положение Земли и следствия

4.1. Двойной критерий обитаемости: потенциал (p) и реализация (C_{gal})

Солнечная система удовлетворяет двойному критерию:

1. Потенциал: $p = 8.5 \times 10^{37}$ – попадает в оптимальную зону ЗОС.
2. Реализация: $C_{gal} \approx 4.6 \times 10^{-7}$ – свидетельствует о значительной накопленной сложности за долгую эволюцию в стабильных условиях.

4.2. Космологическое обоснование антропного принципа

Наше положение в пространстве-времени не случайно:

- Пространственно: Мы находимся в галактическом диске, но достаточно далеко от центра (избегаем стерилизующего излучения АЯГ) и от периферии (избегаем низкоплотных войдов).
- Во времени: Мы существуем в эпоху ($z \approx 0$), когда p в галактических дисках снизился от экстремальных значений ранней Вселенной до оптимального диапазона, позволяющего как быструю эволюцию, так и устойчивость. При этом возраст Галактики достаточен для накопления высокой C_{gal} . Таким образом, наше существование как наблюдателей объясняется нахождением в редкой области пространства-времени, удовлетворяющей как необходимым условиям (попадание в ЗОС по p), так и достаточным условиям (достаточное время для накопления сложности, отражённое в C_{gal}).

4.3. Почему не все области с подходящим p обитаемы

Области звездообразования имеют высокий p (попадают в ЗОС), но низкую C_{gal} из-за молодости (t_{age} мало) и высокой турбулентности/энтропии (S/S_{max} велико). Это делает их непригодными для устойчивой эволюции сложных структур, несмотря на высокий энергетический потенциал.

5. Приложения и перспективы

5.1. Целевой поиск экзопланет Классический критерий (жидкая вода) должен быть дополнен космологическим критерием:

1. Звёздная система должна находиться в области галактики с $10^{37} < p < 10^{42}$.
2. Родительская галактика (или её регион) должна иметь высокую C_{gal} (возраст > 5 млрд лет, упорядоченная структура).

5.2. Великие фильтры как нарушение границ ЗОС

Великий фильтр [3] можно моделировать как выход системы за границы ЗОС:

- Энергетический фильтр: Цивилизация не может достичь p_{min} , необходимого для технологического скачка.
- Дестабилизирующий фильтр: Цивилизация превышает p_{max} (например, в результате неконтролируемого энергопотребления), вызывая коллапс сложности.

5.3. Эмпирическая проверка

Картирование p и C_{gal} по данным обзоров (SDSS, Euclid, JWST) и корреляция с биосигнатурами позволяют проверить предсказания. Ожидается, что планеты-кандидаты с признаками биосфер будут статистически значимо чаще встречаться в регионах с оптимальными p и высокими C_{gal} .

6. Заключение Предложена количественная двумерная рамка (p и C_{gal}) для анализа эволюции сложности. Концепция ЗОС, вытекающая из принципа $dC/dt = E/\hbar$, позволяет единообразно рассматривать эволюцию от галактик до биосфер.

Установлено, что текущее положение Солнечной системы удовлетворяет как критерию оптимального потенциала прогресса (p), так и критерию высокой реализованной сложности (C_{gal}). Это даёт новое, измеримое обоснование антропного принципа: мы находимся не просто в «обитаемой зоне», а в зоне, оптимальной для долгой и продуктивной эволюции сложности. Дальнейшая работа включает уточнение границ по наблюдательным данным и моделирование эволюции систем вблизи этих границ.

Литература

[1] Кемаев М. Принцип фундаментального тождества материи и прогресса как следствие квантовой фазы. Препринт Zenodo. 2025. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17980169>

[2] Исходный код и данные находятся в открытом репозитории GitHub:
<https://github.com/aawen7422-ai/JWST-Progress-Theory/tree/main>

[3] Lineweaver C.H., et al. The Galactic Habitable Zone and the age distribution of complex life in the Milky Way. Science. 2004.

[4] Hanson R. The Great Filter – Are We Almost Past It? 1998.

[5] Зона обитания для сложности: количественные географические структуры во Вселенной. Препринт этой статьи на Zenodo. DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18376349>

Благодарности:

Автор благодарен участникам научного сообщества за обсуждения, а также разработчикам открытых архивов Zenodo и GitHub.

