

# ЗОНА ОБИТАЕМОСТИ ДЛЯ СЛОЖНОСТИ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ГРАНИЦЫ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУР ВО ВСЕЛЕННОЙ

Автор: Кемаев Михаил Сергеевич

Студент 1 курса колледж

a Email: [aawen7422@gmail.com](mailto:aawen7422@gmail.com)

Telegram: [@Medvedofsa](https://www.instagram.com/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  $\varepsilon$  – 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 C 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:  $(1/V) \cdot (dC/dt) = \varepsilon/\hbar \equiv p$ , (2) где  $\varepsilon = \rho c^2$  – плотность энергии,  $\rho$  – 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  $\eta = C_{gal} / (p \cdot V \cdot t_{age})$  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	$\rho$ (г/см <sup>3</sup> )	$\varepsilon = \rho c^2$ (Дж/м <sup>3</sup> )	$p = \varepsilon/\hbar$ (с <sup>-1</sup> ·м <sup>-3</sup> )	$\log_{10}(p)$	Примечание
Войды	$6 \times 10^{-30}$	$5.4 \times 10^{-10}$	$5.1 \times 10^{24}$	24.71	Нижняя граница ЗОС
Межгалактическая среда	$1 \times 10^{-29}$	$9 \times 10^{-10}$	$8.5 \times 10^{24}$	24.93	

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

\*Для АЯГ указана типичная плотность энергии излучения в области  $\sim 1$  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 неустойчивости 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 ( $C_{\text{gal}}$ )

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

## 4. Обсуждение: космологическое положение Земли и следствия

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

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 позволят 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.

