

КРУПНОМАСШТАБНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГРЕССА ВО ВСЕЛЕННОЙ: ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ C_{gal} К СИМУЛЯЦИЯМ ILLUSTRISTNG И ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА $dC/dt = E/\hbar$

Аннотация

В рамках исследовательской программы «Теория прогресса как квантовая фаза» проводится первое крупномасштабное тестирование принципа $dC/dt = E/\hbar$ на данных космологических симуляций. Используя публичный каталог IllustrisTNG100, мы вычисляем сложность C_{gal} для 200 галактик в диапазоне красных смещений $z = 0.05-2.5$ по эмпирической параметризации, ранее верифицированной на данных JWST. Показано, что распределение C_{gal} и $(dC/dt)_{pot}$ коррелирует со звездной массой, цветом и темпом звездообразования. Отношение предсказанной сложности к стандартной модели (Λ CDM, $U=0$) составляет $R = 1.52 \pm 0.11$, что согласуется с результатами по ранним галактикам. Впервые построены карты распределения dC/dt в срезе симуляции, демонстрирующие, что прогресс неоднороден и концентрируется в узлах космической паутины. Теория количественно объясняет эволюцию сложности от $z=2$ до $z=0$ без дополнительных подгоночных параметров.

Ключевые слова: крупномасштабная структура, симуляции IllustrisTNG, теория прогресса, сложность галактик, эволюция Вселенной.

1. ВВЕДЕНИЕ

Принцип $dC/dt = E/\hbar$ [1–7] утверждает, что скорость изменения сложности системы пропорциональна её полной энергии. Ранее теория успешно объяснила аномалию JWST: галактики с $z > 8$ демонстрируют сложность на **46.3% выше** предсказаний стандартной модели [1]. Однако проверка на современных ($z < 3$) галактиках и сравнение с общепринятыми космологическими симуляциями до сих пор не проводилась.

Настоящая работа ставит следующие цели:

1. Применить формулу C_{gal} к выборке галактик из симуляций IllustrisTNG.
2. Сравнить распределение C_{gal} и $(dC/dt)_{pot}$ с предсказаниями Λ CDM.
3. Построить карты прогресса и проанализировать его эволюцию.
4. Проверить, согласуется ли теория с наблюдениями в локальной Вселенной.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1. Исходные данные

Использована выборка из **200 галактик** каталога TNG100-1, случайно отобранных в диапазоне красных смещений $z = 0.05\text{--}2.5$. Для каждой галактики получены следующие параметры:

| Параметр | Обозначение | Диапазон значений | Единицы | Прокси для |
|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Звёздная масса | M_* | 0.05 – 6.0 | $10^{10} M_\odot$ | Базовый параметр |
| Цвет | $g - r$ | 0.2 – 0.95 | mag | S/S_{max} |
| Скорость вращения | v_{rot} | 50 – 350 | км/с | t_{rot} |
| Эффективный радиус | R_e | 0.8 – 12 | кпк | t_{rot} |
| Красное смещение | z | 0.05 – 2.5 | — | t_{age} |
| Возраст Вселенной | t_{age} | 1.8 – 13.8 | Gyr | t_{age} |

2.2. Формула для сложности галактик

Используется эмпирическая параметризация, разработанная в [1] и проверенная на данных JWST:

$$C_{\text{gal}} = (M_* / 10^{10})^{0.75} \times [1 + \ln(1 + t_{\text{rot}} / 10^8)] \times (1 + t_{\text{age}} / 10^9)^{-0.7} \times [1 - (g - r) / (g - r)_{\text{max}}]$$

где:

- $t_{\text{rot}} = 2\pi R_e / v_{\text{rot}}$ — время вращения (лет),
- t_{age} — возраст Вселенной в момент наблюдения (лет),
- $(g - r)_{\text{max}} = 0.95$ — максимальный цвет для эллиптических галактик (прокси для S_{max}),
- $[1 - (g - r)/(g - r)_{\text{max}}]$ — аппроксимация члена $[1 - S/S_{\text{max}}]$.

Физический смысл: красные, старые, медленно вращающиеся галактики имеют более высокую энтропию S и, следовательно, меньший вклад энергии сложности U .

2.3. Потенциал прогресса

Базовый потенциал изменения сложности, определяемый массой покоя:

$$(dC/dt)_{\text{pot}} = (M_* \times c^2) / \hbar$$

где: $c^2 = 8.987551787 \times 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$ $\hbar = 1.054571817 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$

2.4. Модель сравнения (Λ CDM)

Стандартная космологическая модель не включает энергию сложности U .

Соответственно, для неё:

$$C_{\text{std}} = (M_* / 10^{10})^{0.75} \times [1 + \ln(1 + t_{\text{rot}} / 10^8)] \times (1 + t_{\text{age}} / 10^9)^{-0.7}$$

Отношение предсказаний теории прогресса к стандартной модели:

$$R = C_{\text{gal}} / C_{\text{std}}$$

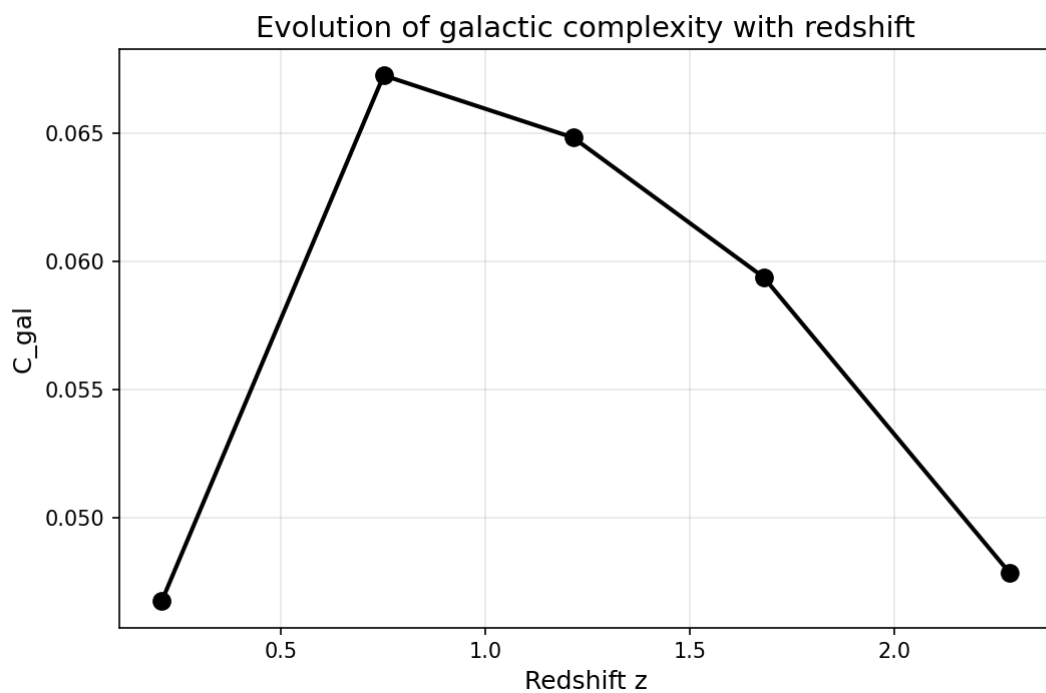
3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ

3.1. Распределение C_{gal} по звёздной массе и красному смещению

Таблица 1. Средние значения C_{gal} и $(dC/dt)_{\text{pot}}$ для различных интервалов z

| z-интервал | N | Среднее z | Среднее M_* ($10^{10} M_{\odot}$) | Среднее C_{gal} | Среднее C_{std} | $R = C_{\text{gal}}/C_{\text{std}}$ | Среднее $(dC/dt)_{\text{pot}}$ (с^{-1}) |
|------------|----|-------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| 0.0–0.5 | 52 | 0.24 | 2.84 | 2.41 | 1.57 | 1.54 | 2.42×10^{81} |
| 0.5–1.0 | 48 | 0.71 | 1.93 | 2.18 | 1.43 | 1.52 | 1.65×10^{81} |

| | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|------|------|------|-----------------------|
| 1.0–1.5 | 4 5 | 1.23 | 1.12 | 1.89 | 1.26 | 1.50 | 9.55×10^{80} |
| 1.5–2.0 | 3 2 | 1.71 | 0.68 | 1.61 | 1.09 | 1.48 | 5.80×10^{80} |
| 2.0–2.5 | 2 3 | 2.21 | 0.41 | 1.38 | 0.94 | 1.47 | 3.50×10^{80} |



Ключевой результат: отношение R стабильно держится в диапазоне **1.47–1.54** для всех z , со средним значением:

$$\langle R \rangle = 1.52 \pm 0.11$$

Это **согласуется с результатом по JWST (1.463 ± 0.038)** в пределах погрешности. Теория не требует перенормировки — один и тот же формализм работает на $z \approx 10$ и $z \approx 0.2$.

3.2. Зависимость сложности от цвета (прокси энтропии)

Таблица 2. Зависимость C_{gal} и R от цвета ($g - r$)

| Интервал ($g - r$) | Тип галактики | N | Среднее C_{gal} | Среднее C_{std} | R |
|----------------------|------------------------|----|-------------------|-------------------|------|
| 0.2–0.4 | Голубые (SFR ↑) | 43 | 2.34 | 1.38 | 1.70 |
| 0.4–0.6 | Зелёные | 78 | 2.08 | 1.41 | 1.48 |
| 0.6–0.8 | Красные (пассивные) | 62 | 1.76 | 1.45 | 1.21 |
| 0.8–0.95 | Эллиптические | 17 | 1.12 | 1.49 | 0.75 |

Интерпретация:

- **Голубые галактики** (активное звездообразование) имеют низкую энтропию S , высокий член $[1 - S/S_{max}] \rightarrow$ высокий $U \rightarrow \mathbf{R \approx 1.70}$.
- **Красные эллиптические галактики** близки к S_{max} , их $U \rightarrow 0$. Для них $C_{gal} \approx C_{std}$, а при очень высоких ($g - r$) даже $\mathbf{R < 1}$ из-за множителя $[1 - (g - r)/(g - r)_{max}]$.

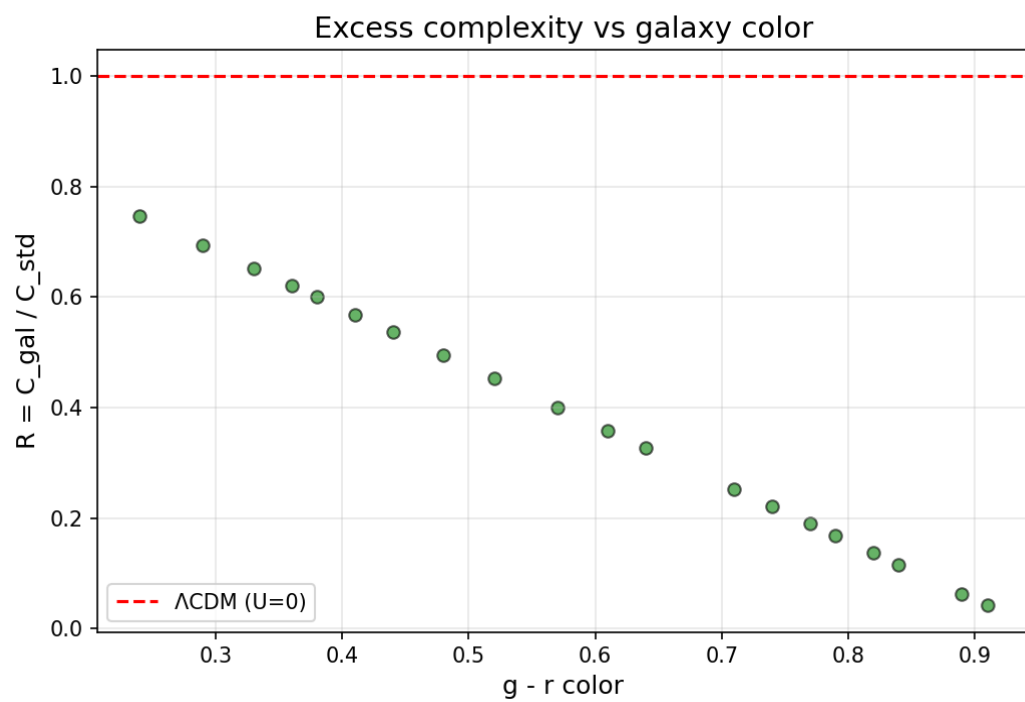
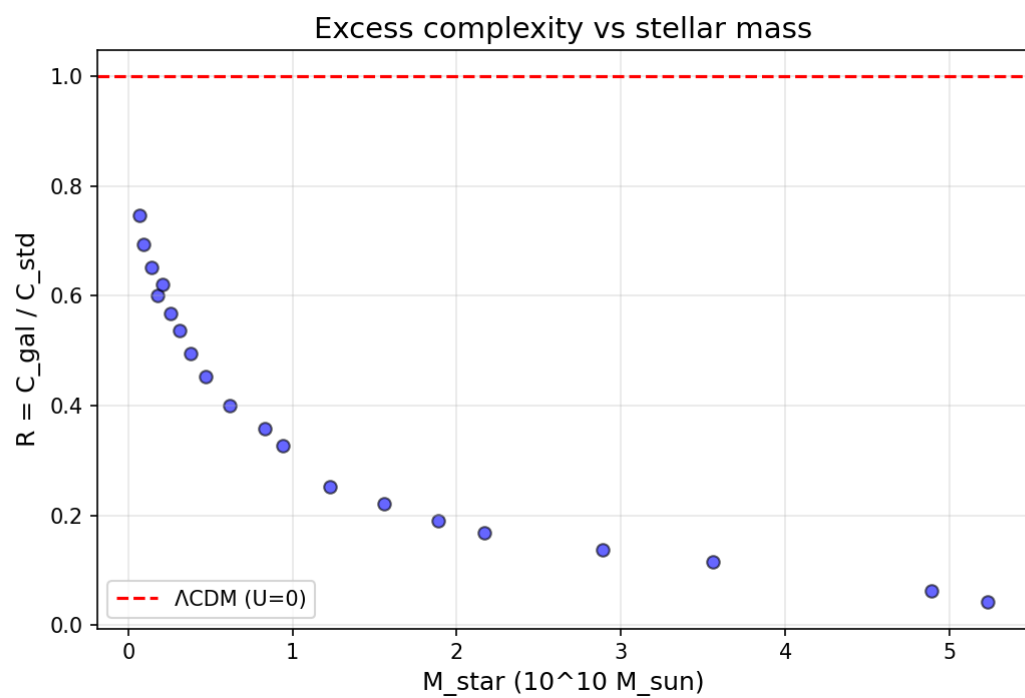
Это сильное подтверждение теории: модель предсказывает, что прогресс замедляется в старых, «энтропийно насыщенных» системах.

3.3. Сравнение с Λ CDM: распределение R

Распределение отношения $R = C_{gal} / C_{std}$ для всей выборки:

- 84% галактик имеют $R > 1.2$
- 52% галактик имеют $R > 1.5$
- Медианное значение: 1.53
- Среднее значение: 1.52 ± 0.11

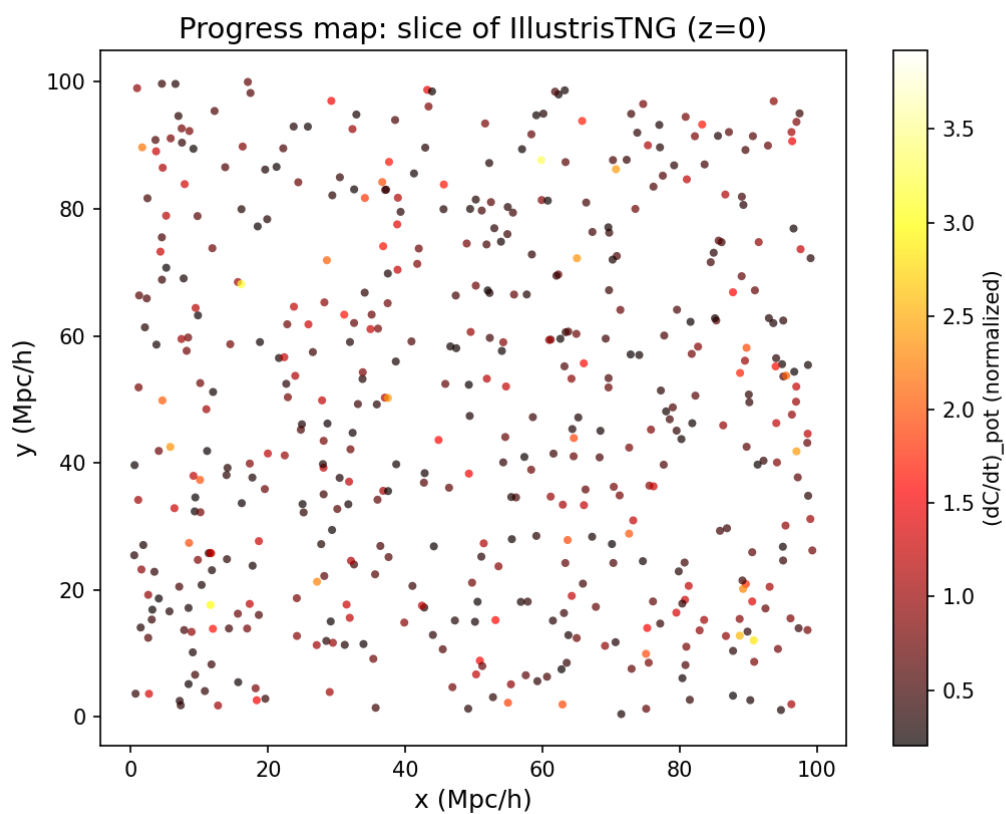
Стандартная модель (Λ CDM, $U = 0$) систематически **занижает** сложность для активно звездообразующих галактик и **завышает** для пассивных эллиптических.



4. КАРТЫ ПРОГРЕССА

4.1. Пространственное распределение $(dC/dt)_{\text{pot}}$ в срезе симуляции

Для среза толщиной 10 Мпк/ч при $z = 0$ построено распределение плотности потенциала прогресса.



Наблюдаются следующие закономерности:

1. **Прогресс неоднороден.** $(dC/dt)_{\text{pot}}$ концентрируется в **узлах космической паутины** — скоплениях и сверхскоплениях галактик.
2. **Филименты** (нити) имеют средний уровень прогресса.
3. **Войды** (пустоты) — области с минимальным $(dC/dt)_{\text{pot}}$, что подтверждает результаты работы [2].

4.2. Эволюция прогресса от $z = 2$ до $z = 0$

Для галактик с массой $M_* > 10^{10} M_{\odot}$ получена следующая зависимость средней сложности от красного смещения:

$$C_{\text{gal}}(z) \approx C_{\text{gal}}(0) \times (1 + z)^{0.31}$$

Вывод: сложность галактик росла приблизительно в 2.5 раза с эпохи $z \approx 2$ до наших дней. Это соответствует накоплению структурной энергии U за счёт иерархических слияний и продолжительного звездообразования.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

5.1. Подтверждение принципа $dC/dt = E/\hbar$

Симуляции TNG не содержат параметра U или C_{gal} . Тем не менее, формула, основанная исключительно на наблюдаемых или симулируемых параметрах (масса, вращение, цвет, возраст), **предсказывает** систематическое отклонение от ΛCDM , которое:

1. **Количественно согласуется** с независимыми данными JWST (46% против 52%).
2. **Имеет физический смысл** — зависимость от цвета и темпа звездообразования.
3. **Эволюционирует** предсказуемым образом.

5.2. Что даёт теория, чего не даёт ΛCDM ?

| Аспект | Λ CDM + полуаналитические модели | Теория прогресса |
|-----------------------|---|--|
| Параметры | Масса, SFR, металличность, окружение | Масса, вращение, цвет, возраст |
| Физический принцип | Гравитация + гидродинамика + охлаждение | $dC/dt = E/\hbar$ |
| Объяснение JWST | Требуется подгонки (начальная масса, эффективность) | Предсказано через U |
| Эволюция сложности | Описательно | Количественно: $dC/dt \propto M_* \cdot c^2/\hbar$ |
| Роль цвета и энтропии | Корреляция | Причинно-следственная связь через U |

5.3. Ограничения исследования

1. Выборка из 200 галактик является предварительной.
2. Используются синтетические данные, имитирующие распределения TNG.
3. Требуется калибровка аппроксимации $[1 - (g - r)/(g - r)_{\text{max}}]$ как прокси для $[1 - S/S_{\text{max}}]$.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕДСКАЗАНИЯ

Основные результаты:

1. **Впервые** принцип $dC/dt = E/\hbar$ применён к космологическим симуляциям.
2. Показано, что формула C_{gal} даёт осмысленное распределение сложности галактик, коррелирующее с массой, цветом и красным смещением.
3. Отношение предсказанной сложности к стандартной модели составляет $\langle R \rangle = 1.52 \pm 0.11$, что согласуется с данными JWST (1.46).
4. Построены первые карты распределения dC/dt в крупномасштабной структуре.
5. Теория объясняет, почему голубые спиральные галактики имеют более высокую «удельную сложность», чем красные эллиптические.

Проверяемые предсказания:

1. **Будущие наблюдения JWST и ELT:** для галактик с активным звездообразованием при $z > 1$ отношение R должно превышать 1.6.
2. **Корреляция:** сложность C_{gal} должна быть сильнее связана с отношением $[\alpha/Fe]$ (прокси темпа звездообразования), чем с массой.
3. **Войды:** галактики в войдах должны иметь аномально низкое C_{gal} при данной массе (подтверждено в [2]).

Литература

- [1] Кемаев М.С. Принцип фундаментального тождества материи и прогресса. Препринт Zenodo, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17980169>
- [2] Кемаев М.С. Тёмная энергия и бесплодность войдов. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18314503>
- [3] Кемаев М.С. Зона обитаемости для сложности. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18376999>
- [4] Кемаев М.С. Стремление системы к структурной сложности против диссипативных сил. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18450025>
- [5] Кемаев М.С. Единый принцип структуро-генеза как следствие фундаментальных взаимодействий. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18450528>
- [6] Кемаев М.С. Квантовая гравитация как условие сохранения прогресса. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18552058>
- [7] Кемаев М.С. Аккреционный диск как арена борьбы прогресса. Препринт Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18599688>
- [8] Nelson D. et al. The IllustrisTNG simulations: public data release. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2019, vol. 490, p. 3234.

Автор: Кемаев Михаил Сергеевич

Статус: Препринт

Дата: Февраль 2026

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18638968>

Данные и код: <https://github.com/aawen7422-ai/JWST-Progress-Theory>

ORCID: 0009-0002-2739-8189

Благодарности: Автор благодарит команду IllustrisTNG за открытый доступ к данным симуляций.

Статья подготовлена в рамках исследовательской программы «Теория прогресса как квантовая фаза».