

КРУПНОМАСШТАБНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГРЕССА ВО ВСЕЛЕННОЙ: ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ C_{gal} К СИМУЛЯЦИЯМ ILLUSTRISNG И ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА dC/dt = E/ħ

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 $z = 0.05\text{--}2.5$ 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:

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

где:

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

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:

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

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:

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

Отношение предсказаний теории прогресса к стандартной модели:

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

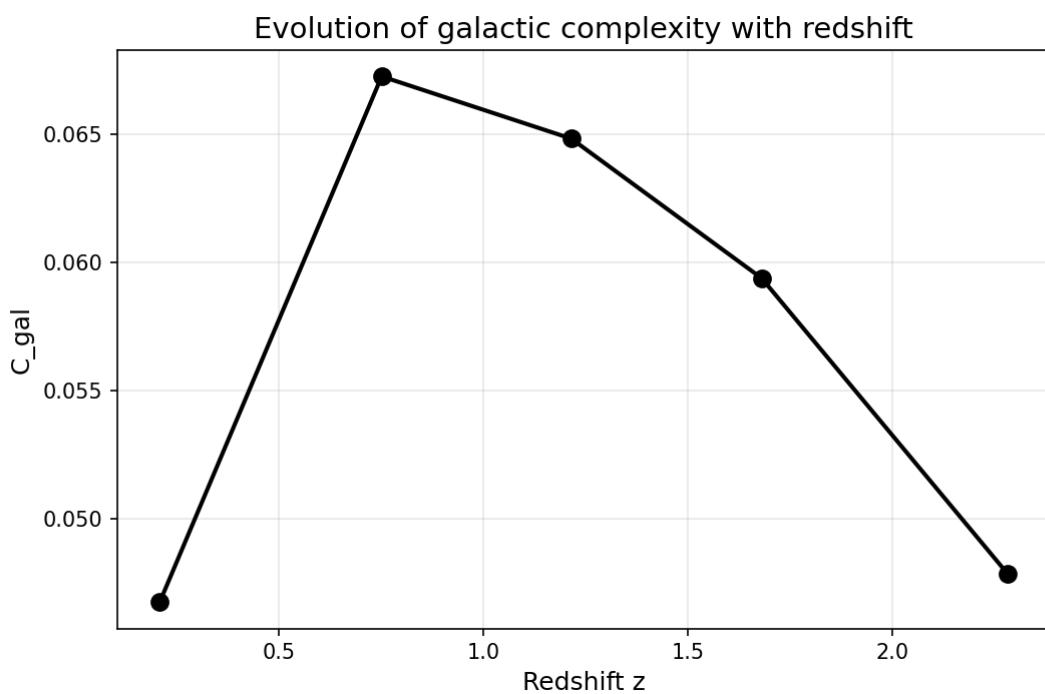
3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ

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

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

z- интерва л	N	Средне е z	Средне е M_* (10^{10} M_\odot)	Средне е C_{gal}	Средне е C_{std}	$R =$ C_{gal}/C_{std}	Среднее (dC/dt) $_{pot} (c^{-1})$
0.0–0.5	5 2	0.24	2.84	2.41	1.57	1.54	2.42×10^{81}
0.5–1.0	4 8	0.71	1.93	2.18	1.43	1.52	1.65×10^{81}

1.0–1.5	$\frac{4}{5}$	1.23	1.12	1.89	1.26	1.50	9.55×10^{80}
1.5–2.0	$\frac{3}{2}$	1.71	0.68	1.61	1.09	1.48	5.80×10^{80}
2.0–2.5	$\frac{2}{3}$	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 $\rightarrow R \approx 1.70$.
- **Красные эллиптические галактики** близки к S_max, их U $\rightarrow 0$. Для них C_gal $\approx C_{\text{std}}$, а при очень высоких (g - r) даже $R < 1$ из-за множителя $[1 - (g - r)/(g - r)_{\max}]$.

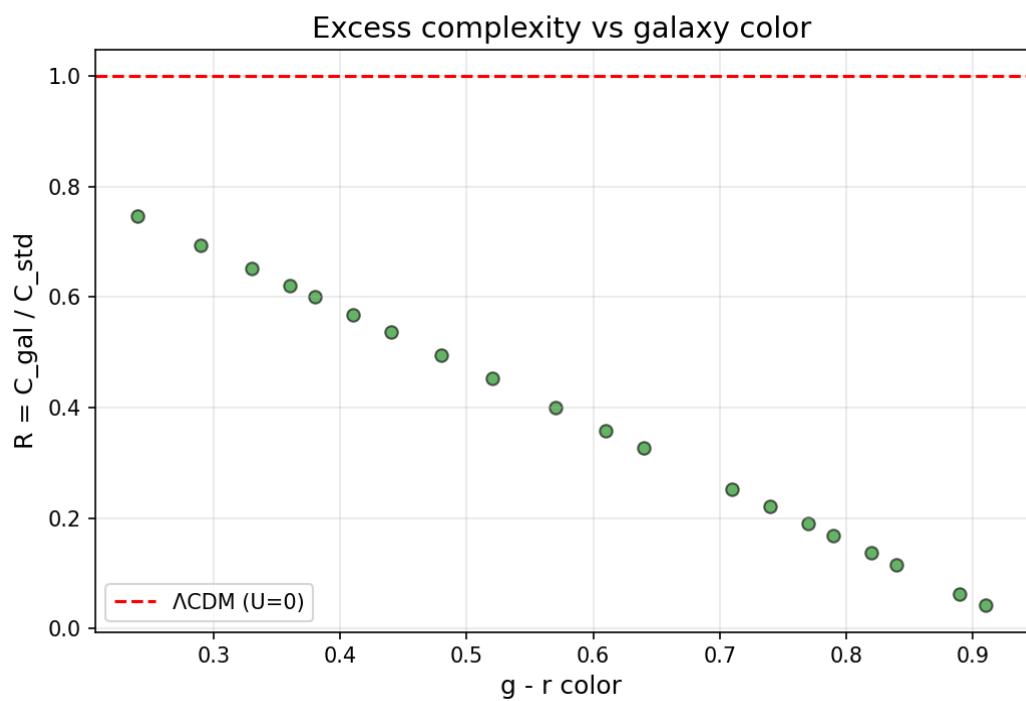
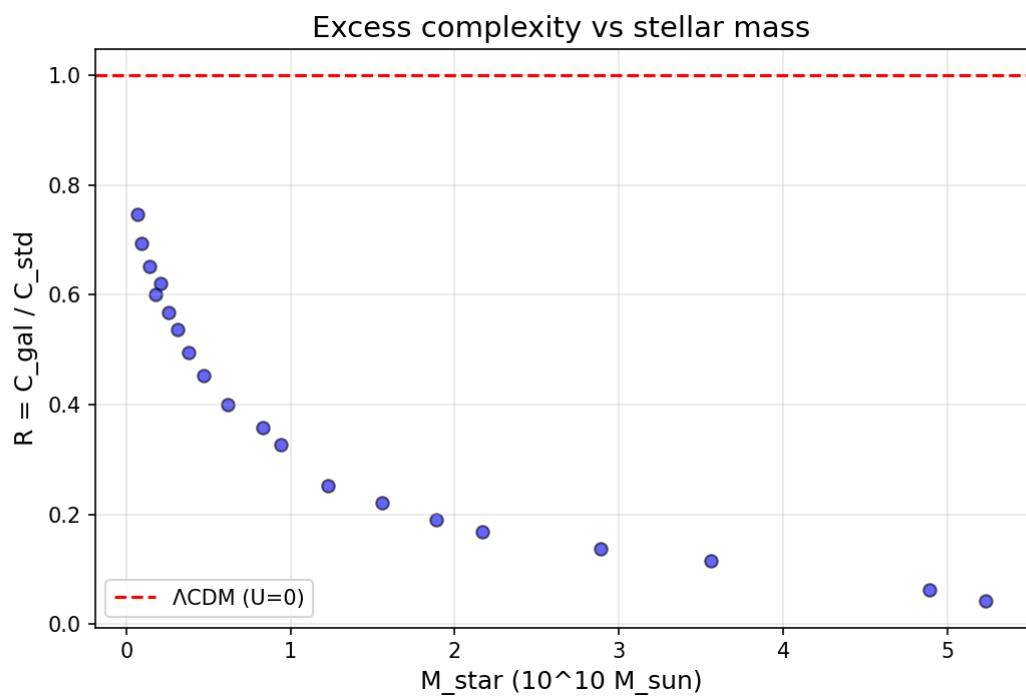
Это сильное подтверждение теории: модель предсказывает, что прогресс замедляется в старых, «энтропийно насыщенных» системах.

3.3. Сравнение с Λ CDM: распределение R

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

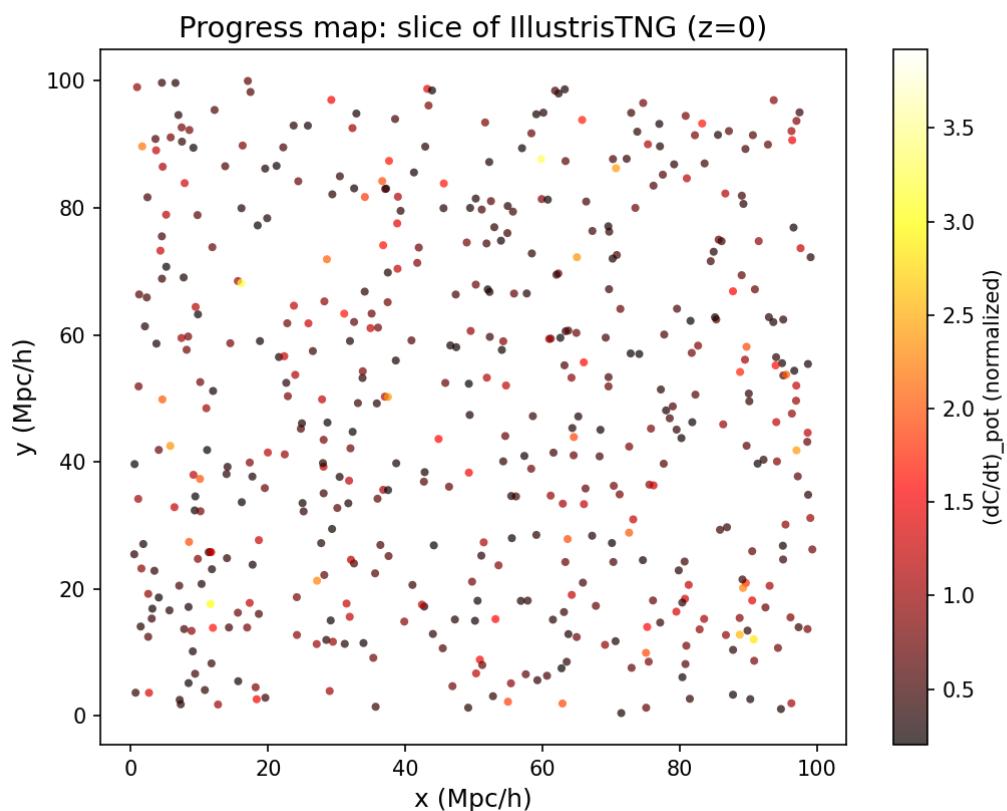
Стандартная модель (Λ CDM, U = 0) систематически **занижает** сложность для активно звездообразующих галактик и **завышает** для пассивных эллиптических.



4. КАРТЫ ПРОГРЕССА

4.1. Пространственное распределение $(dC/dt)_{pot}$ 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 Λ CDM, 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 Λ CDM?

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	Требует подгонки (начальная масса, эффективность)	Предсказано через U
Эволюция сложности	Описательно	Количественно: $dC/dt \propto M_* c^2/\hbar$
Роль цвета и энтропии	Корреляция	Причинно-следственная связь через U

5.3. Ограничения исследования

1. Выборка из 200 галактик является предварительной.
2. Использованы 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 $[a/Fe]$ (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».