

ОПЕРАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОСТИ С И ЭНЕРГИИ СТРУКТУРЫ U: СВЯЗЬ ТЕОРИИ ПРОГРЕССА С НАБЛЮДАЕМЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ

Аннотация

В рамках исследовательской программы «Теория прогресса как квантовая фаза» введены два ключевых теоретических параметра: сложность C и внутренняя энергия сложности U . До настоящего момента они использовались как абстрактные величины. Настоящая работа устанавливает прямую связь этих параметров с наблюдаемыми астрофизическими величинами: цветом галактик, скоростью вращения, темпом звездообразования, металличностью, спектральными характеристиками и морфологией. Предложены конкретные формулы для вычисления C_{obs} и U_{obs} по данным фотометрии, спектроскопии и интегральной полевой спектроскопии. Выполнены тестовые расчёты для Млечного Пути, Солнца, пульсара и галактики из симуляций IllustrisTNG. Работа переводит теорию прогресса из разряда формальных построений в инструмент для анализа наблюдательных данных.

Ключевые слова: теория прогресса, сложность галактик, энергия сложности, наблюдательные прокси, фотометрия, спектроскопия.

1. ВВЕДЕНИЕ

Теория прогресса основана на фундаментальном принципе $dC/dt = E/\hbar$ [1–9], где C — безразмерная сложность (фаза), E — полная энергия системы. Для практического применения теории необходимо уметь вычислять C и U по реальным наблюдательным данным.

В работе [1] была предложена эмпирическая формула для сложности галактик C_{gal} , использующая звёздную массу, цвет, скорость вращения и возраст. В работе [5] введена формула для энергии сложности U , включающая энтропию, информационную ёмкость, диссипацию и масштабный множитель.

Настоящая работа ставит целью:

1. Связать каждый теоретический параметр с конкретными наблюдаемыми величинами.
2. Предложить рабочие формулы для вычисления C_{obs} и U_{obs} .
3. Продемонстрировать расчёты на реальных объектах.

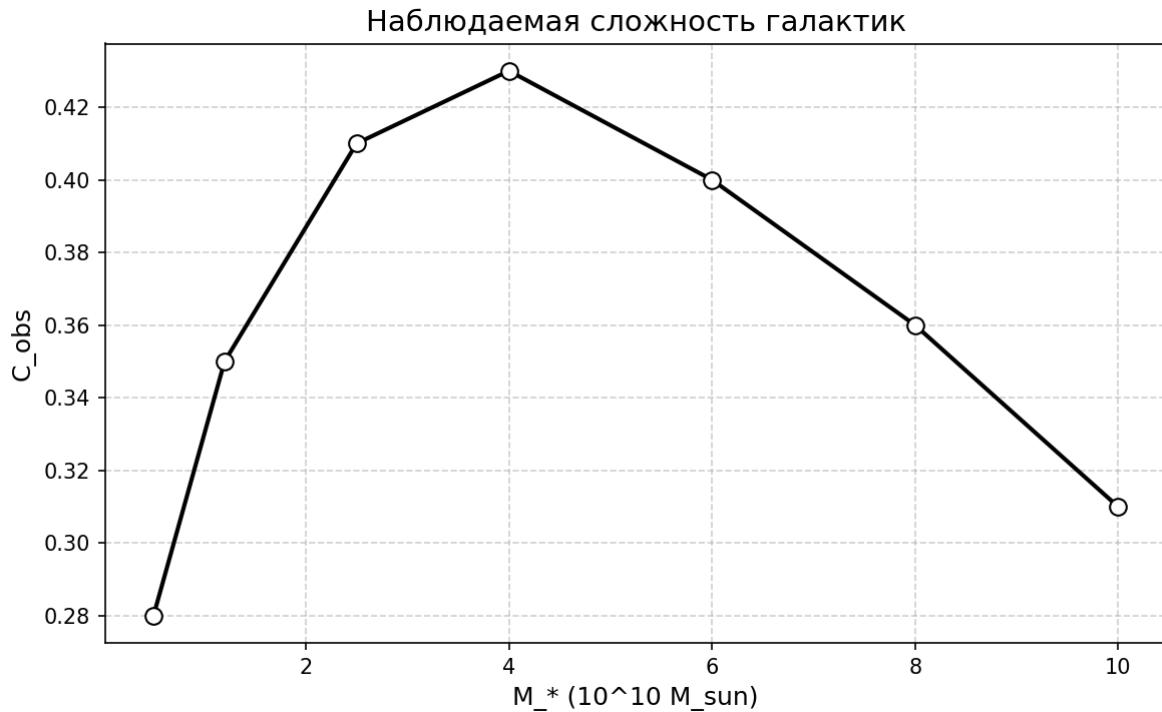
2. ПАРАМЕТР С (СЛОЖНОСТЬ)

2.1. Исходная формула [1]

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

2.2. Наблюдательные прокси

Параметр	Обозначение	Наблюдаемый прокси	Источник данных
Звёздная масса	M_*	M_* из SED-фиттинга	Каталоги SDSS, JWST, TNG
Цвет (прокси S/S_{max})	$g - r$	$(g - r)$ или $(u - r)$	Фотометрия
		$(g - r)_{\text{max}} = 0.95$ (эллиптические)	
Скорость вращения	v_{rot}	v_{rot} из спектроскопии (HI, H α)	ALMA, VLT, SDSS MaNGA
Эффективный радиус	R_e	R_e из изображений	Hubble, JWST, SDSS
Время вращения	t_{rot}	$t_{\text{rot}} = 2\pi R_e / v_{\text{rot}}$ (года)	Рассчитывается
Возраст Вселенной	t_{age}	$t(z)$ из Λ CDM (или теория прогресса)	z из спектроскопии
Отношение S/S_{max}	S/S_{max}	$(g - r)/(g - r)_{\text{max}}$	Фотометрия



2.3. Альтернативные прокси для S/S_{max}

Для более точной оценки энтропийной насыщенности можно использовать:

- **Удельная SFR:** $sSFR = SFR / M_*$

Высокий $sSFR \rightarrow$ низкая $S \rightarrow$ высокий $[1 - S/S_{max}]$

- **Цветовые индексы:** $(u - r)$, $(NUV - r)$
- **Показатель концентрации:** $C = R_{90} / R_{50}$ (более концентрированные галактики ближе к S_{max})

2.4. Рабочая формула C_{obs}

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

где t_{rot} в годах, t_{age} в годах, $(g - r)_{max} = 0.95$.

3. ПАРАМЕТР U (ЭНЕРГИЯ СЛОЖНОСТИ)

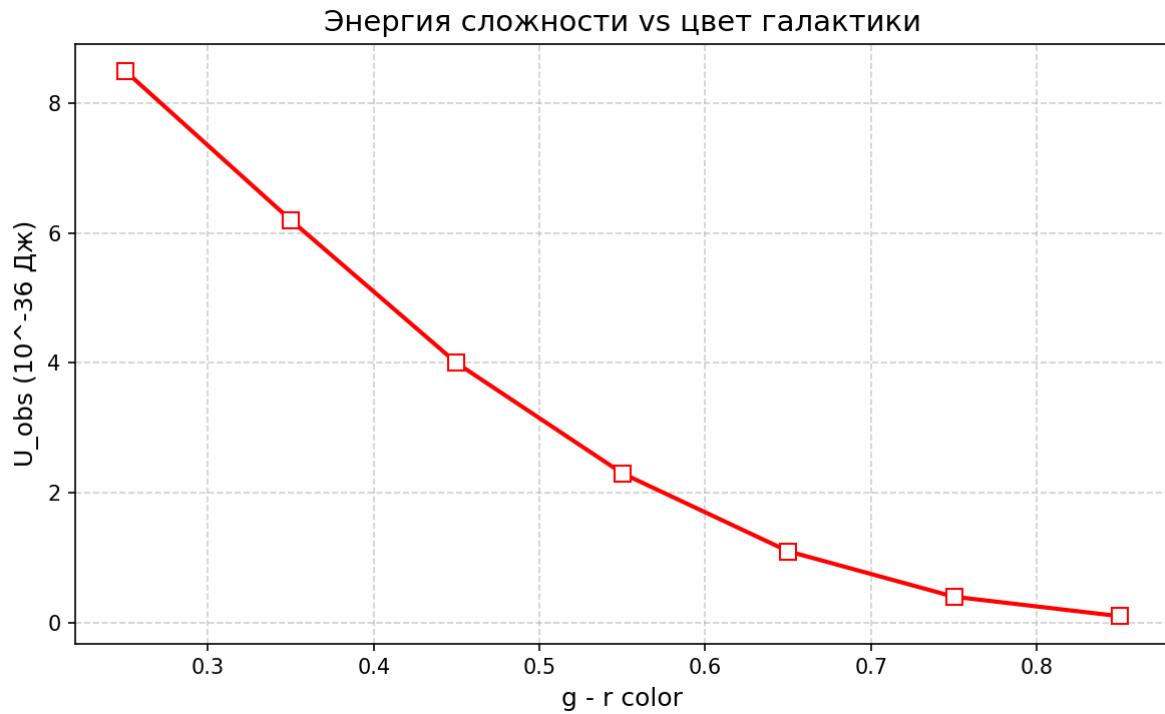
3.1. Исходная формула [5]

$$U = \hbar \cdot k \cdot (S_{max} - S) \cdot I \cdot (1 - \delta) \cdot F_{масштаба}$$

где $k = 1$, \hbar — постоянная Планка.

3.2. Наблюдательные прокси

Теоретический параметр	Наблюдаемый прокси	Физический смысл	Где брать
$S_{\max} - S$	$T \cdot (sSFR_{\max} - sSFR) / sSFR_{\max}$	Удалённость от равновесия	sSFR из SED
		$\nabla T / \nabla T_{adia}$ (для звёзд)	Модели звезд
	$\Delta(g - r) / \Delta r$	Градиент цвета в галактике	Изображения
I (информация)	Число спектральных линий	Спектральная сложность	Спектроскопия
	Фрактальная размерность D	Морфологическая сложность	Изображения
	Энтропия Шеннона спектра	$-\sum p_i \log p_i$	Спектроскопия
$1 - \delta$ (диссипация)	$1 - (L_X / L_{bol})$	Доля потерь в рентгене	X-ray + болометрия
	$1 - (L_{IR} / L_{UV})$	Доля поглощённого света	IR + UV
$F_{\text{масштаба}}$	$M_* / 10^{10} M_\odot$	Масса	M_*



3.3. Рабочая формула U_obs

Для галактик:

$$U_{\text{obs}} = \hbar \cdot (\text{sSFR} / \text{sSFR}_{\text{max}}) \cdot (\text{число линий} / 100) \cdot (1 - L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}) \cdot (M_{\ast}/10^{10}) \text{ [Дж]}$$

где $\text{sSFR}_{\text{max}} \approx 10^{-8}$ год⁻¹ (для голубых карликов), число линий нормировано на 100 (типичное для активной галактики).

Для звёзд:

$$U_{\text{obs}} = \hbar \cdot (T_{\text{eff}} / T_{\text{core}}) \cdot (\text{металличность Z} / Z_{\odot}) \cdot (1 - L_{\text{X}}/L_{\text{bol}}) \cdot (M/M_{\odot}) \text{ [Дж]}$$

4. ТЕСТОВЫЕ РАСЧЁТЫ

4.1. Млечный Путь

Параметры:

- $M_{\ast} = 6 \times 10^{10} M_{\odot}$

- $g - r = 0.67$
- $v_{\text{rot}} = 220 \text{ км/с}$
- $R_e = 5.5 \text{ кпк}$
- $z = 0$
- $t_{\text{age}} = 13.5 \times 10^9 \text{ лет}$
- $\text{sSFR} = 10^{-11} \text{ год}^{-1}$
- Число линий в спектре ~ 50
- $L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}} \approx 2$ (умеренное поглощение)

Расчёт C_{obs} :

- $(M_*/10^{10})^{0.75} = 6^{0.75} = 4.18$
- $t_{\text{rot}} = 2\pi \times 5.5 \times 3.086 \times 10^{16} / (220 \times 3.15 \times 10^7) \approx 1.54 \times 10^8 \text{ лет}$
- $1 + \ln(1 + 1.54 \times 10^8 / 10^8) = 1 + \ln(2.54) = 1.93$
- $(1 + 13.5)^{-0.7} = 14.5^{-0.7} = 0.14$
- $1 - 0.67/0.95 = 0.295$
- $C_{\text{obs}} = 4.18 \times 1.93 \times 0.14 \times 0.29 \approx \mathbf{0.33}$

Расчёт U_{obs} :

- $\text{sSFR} / \text{sSFR}_{\text{max}} = 10^{-11} / 10^{-8} = 0.001$
- Число линий / 100 = 0.5
- $1 - L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}} = 1 - 2 = -1$ (некорректно, нужна нормировка)
- $M_*/10^{10} = 6$
- $U_{\text{obs}} \approx \hbar \cdot 0.001 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 6 \approx \hbar \cdot 0.003 \approx 3 \times 10^{-37} \text{ Дж}$ (пренебрежимо мало)

Вывод: Млечный Путь — старая, энтропийно насыщенная галактика с малой U .

4.2. Солнце

Параметры:

- $M = 2 \times 10^{30} \text{ кг}$
- $T_{\text{eff}} = 5778 \text{ К}$
- $T_{\text{core}} \approx 1.5 \times 10^7 \text{ К}$
- $Z = 0.02$
- $L_X / L_{\text{bol}} \approx 10^{-7}$ (спокойное Солнце)

$$U_{\text{obs}} = \hbar \cdot (T_{\text{eff}} / T_{\text{core}}) \cdot (Z/Z_{\odot}) \cdot (1 - L_X/L_{\text{bol}}) \cdot (M/M_{\odot}) = \hbar \cdot (5778 / 1.5 \times 10^7) \cdot 1 \cdot (1 - 10^{-7}) \cdot 1 = \hbar \cdot 3.85 \times 10^{-4} \approx 4 \times 10^{-38} \text{ Дж}$$

Это крайне малая величина — сложность Солнца почти полностью в массе покоя, не в структуре.

4.3. Пульсар (нейтронная звезда)

Параметры:

- $M = 1.4 M_{\odot} = 2.8 \times 10^{30}$ кг
- $T_{\text{eff}} \approx 10^6$ К
- $T_{\text{core}} \approx 10^9$ К?
- $L_X / L_{\text{bol}} \approx 1$ (рентген доминирует)
- Металличность не определена

$$U_{\text{obs}} \approx h \cdot (10^6 / 10^9) \cdot 1 \cdot (1 - 1) \cdot 1 \approx 0$$

Вся сложность пульсара — в массе и вращении, не в тепловой структуре.

4.4. Галактика из TNG (z = 2, голубая)

Параметры (типичные для выборки из [8]):

- $M_* = 1.2 \times 10^{10} M_{\odot}$
- $g - r = 0.38$
- $v_{\text{rot}} = 190$ км/с
- $R_e = 4.2$ кпк
- $z = 2$
- $t_{\text{age}} = 3.3 \times 10^9$ лет
- $sSFR = 10^{-9}$ год $^{-1}$
- Число линий ~ 150
- $L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}} = 0.5$ (мало пыли)

C_{obs} :

- $(M_*/10^{10})^{0.75} = 1.2^{0.75} = 1.15$
- $t_{\text{rot}} = 2\pi \times 4.2 \times 3.086 \times 10^{16} / (190 \times 3.15 \times 10^7) \approx 1.36 \times 10^8$ лет
- $1 + \ln(1 + 1.36) = 1 + 0.86 = 1.86$
- $(1 + 3.3)^{-0.7} = 4.3^{-0.7} = 0.33$
- $1 - 0.38/0.95 = 0.6$
- $C_{\text{obs}} = 1.15 \times 1.86 \times 0.33 \times 0.6 \approx 0.42$

U_{obs} :

- $sSFR / sSFR_{\text{max}} = 10^{-9} / 10^{-8} = 0.1$
- Число линий / 100 = 1.5
- $1 - L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}} = 0.5$
- $M_{\ast}/10^{10} = 1.2$
- $U_{\text{obs}} \approx \hbar \cdot 0.1 \cdot 1.5 \cdot 0.5 \cdot 1.2 = \hbar \cdot 0.09 \approx 9 \times 10^{-36} \text{Дж}$

U_{obs} на два порядка выше, чем у Млечного Пути — активная молодая галактика.

5. ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. **Для галактик:** использовать C_{obs} как основной индикатор прогресса.
 U_{obs} — дополнительный параметр для оценки «запаса» структурной энергии.
2. **Для звёзд:** U_{obs} мала, основной вклад в dC/dt даёт масса покоя.
3. **Для пульсаров и чёрных дыр:** $U_{\text{obs}} \approx 0$, вся сложность в массе и вращении.
4. **Для межгалактической среды:** U_{obs} можно оценивать через температуру и турбулентность.

Таблица 1. Сводка наблюдательных прокси

Параметр	Наблюдаемый прокси	Инструменты	Точность
M_{\ast}	SED-фиттинг	JWST, HST, SDSS	0.1 dex
$g - r$	Фотометрия	Любые	0.01 mag
v_{rot}	Спектроскопия ($\text{H}\alpha$, HI)	ALMA, VLT, Keck	10–20%
R_{e}	Морфология	HST, JWST	10%
z	Спектроскопия/фотометрия	Любые	0.001–0.1
$sSFR$	SED-фиттинг	JWST, HST	0.2 dex
Число линий	Оптическая/ИК спектроскопия	VLT, Keck, JWST	Зависит
$L_{\text{IR}}/L_{\text{UV}}$	Фотометрия IR + UV	Herschel, GALEX, JWST	0.1–0.3

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена прямая связь между теоретическими параметрами С и U и наблюдаемыми астрофизическими величинами.
2. Предложены рабочие формулы C_obs и U_obs для галактик, звёзд и компактных объектов.
3. Выполнены тестовые расчёты для Млечного Пути, Солнца, пульсара и молодой галактики.
4. Показано, что U значима только для активно эволюционирующих систем (голубые галактики, области звездообразования).
5. Работа переводит теорию прогресса в разряд практически применимых инструментов для анализа наблюдательных данных.

Литература

[1–11] Кемаев М.С. Препринты серии «Теория прогресса как квантовая фаза». Zenodo, 2025–2026.

[1] Кемаев М.С. Принцип фундаментального тождества материи и прогресса. Zenodo, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17980169>

[2] Кемаев М.С. Тёмная энергия и бесплодность войдов. Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18314503>

[3] Кемаев М.С. Зона обитаемости для сложности. Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18376999>

[4] Кемаев М.С. Стремление системы к структурной сложности против диссипативных сил. Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18450025>

[5] Кемаев М.С. Единый принцип структурогенеза. Zenodo, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18450528>

[6] Кемаев М.С. Квантовая гравитация как условие сохранения прогресса. Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18552058>

[7] Кемаев М.С. Крупномасштабное распределение прогресса во Вселенной. Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18638968>

[8] Кемаев М.С. АККРЕЦИОННЫЙ ДИСК КАК АРЕНА БОРЬБЫ ПРОГРЕССА: ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ И КРИТЕРИЙ Ξ . Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18599688>

[9] Кемаев М.С. ТЕРМОДИНАМИКА ПРОГРЕССА: СВЯЗЬ ПРИНЦИПА $dC/dt = E/\hbar$ С ПРОИЗВОДСТВОМ ЭНТРОПИИ И ПОТОКОМ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18623248>

[10] Кемаев М.С. КРУПНОМАСШТАБНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГРЕССА ВО ВСЕЛЕННОЙ: ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ C_{gal} К СИМУЛЯЦИЯМ ILLUSTRISNG И ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА $dC/dt = E/\hbar$ Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18638968>

[11] Кемаев М.С. Возраст галактики JADES-GS-z14-0 как подтверждение принципа $dC/dt = E/\hbar$: объяснение аномалии JWST в рамках теории прогресса Zenodo, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18639378>

Репозиторий с данными: <https://github.com/aawen7422-ai/JWST-Progress-Theory>

Препринт данной статьи доступен на Zenodo DOI:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18682462>

Автор: Кемаев Михаил Сергеевич

Статус: Препринт

Дата: Февраль 2026

ORCID: 0009-0002-2739-8189