

Чёрные дыры как предельные концентраторы сложности: проверка принципа $dC/dt = E/\hbar$

Аннотация

Проверяется предсказание фундаментального принципа $dC/dt = E/\hbar$ для чёрных дыр — объектов с экстремальной концентрацией массы-энергии. Показано, что удельная скорость изменения сложности $\mu = (dC/dt)/M$ для чёрных дыр в планковских единицах равна $\mu \approx 1$, что совпадает со значением для барионных систем. Это подтверждает универсальность принципа: масса есть мера потенциала для изменения сложности. Ключевое отличие чёрных дыр — пространственная локализация: вся связанная с массой сложность сосредоточена на горизонте событий. Расчёт скорости роста энтропии Бекенштейна-Хокинга dS_{BH}/dt для аккрецирующей чёрной дыры показывает, что она на ~ 14 порядков меньше общего dC/dt . Это указывает, что основная роль чёрных дыр в контексте принципа — демонстрация предельной пространственной концентрации сложности.

Ключевые слова: чёрные дыры, принцип $dC/dt = E/\hbar$, энтропия Бекенштейна-Хокинга, удельная скорость сложности, концентрация сложности.

1. Введение

Фундаментальный принцип $dC/dt = E/\hbar$, связывающий скорость изменения меры сложности системы с её полной энергией, успешно объясняет наблюдаемую эволюцию галактик и определяет «зону обитаемости для сложности». Критическим тестом на универсальность любого физического принципа является его применимость к предельным, экстремальным объектам. В рамках Общей теории относительности таковыми являются чёрные дыры, где классические концепции пространства, времени и сложности сталкиваются с сингулярностями. Интуитивно может предполагаться, что чёрные дыры, обладающие максимально возможной для данного объёма плотностью энергии, должны быть и максимальными источниками dC/dt . Однако количественная проверка этого предположения в рамках предложенного формализма ранее не проводилась. Цель данной работы — выполнить такую проверку, вычислив dC/dt и сопутствующие меры для чёрных дыр различной массы и сравнив результаты с обычными астрофизическими системами.

2. Методология расчётов

2.1. Скорость изменения сложности для чёрной дыры

Для чёрной дыры с массой M полная энергия составляет $E = Mc^2$. Согласно принципу:

$$dC/dt = E/\hbar = (M c^2)/\hbar [c^{-1}] \quad (1)$$

Для удобства сравнения различных систем переведём эту величину в безразмерные планковские единицы (P):

$$P = (dC/dt) \times t_{pl}, \quad (2) \text{ где } t_{pl} = 5.391247e-44 \text{ с — планковское время.}$$

2.2. Удельная скорость изменения сложности

Для анализа эффективности преобразования массы в изменение сложности введём удельный параметр: $\mu = P/(M/M_{pl})$, (3) где $M_{pl} = 2.176434e-8$ кг — планковская масса. Из (1)-(3) непосредственно следует, что если принцип $dC/dt = E/\hbar$ верен, то для любой изолированной системы должно выполняться $\mu = 1$ (в планковских единицах).

2.3. Скорость роста энтропии горизонта

Согласно термодинамике чёрных дыр, энтропия Бекенштейна-Хокинга: $S_{BH} = 4\pi (M/M_{pl})^2$. (4)

Для чёрной дыры, аккрецирующей массу со скоростью dM/dt , скорость роста энтропии составит: $dS_{BH}/dt = (dS_{BH}/dM) \times dM/dt = (8\pi M/M_{pl}^2) \times dM/dt$. (5)

2.4. Константы

$$c = 299792458 \text{ м/с}$$

$$c^2 = 89875517873681764 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\hbar = 1.054571817e-34 \text{ Дж·с}$$

$$t_{pl} = 5.391247e-44 \text{ с}$$

$$M_{pl} = 2.176434e-8 \text{ кг}$$

$$M_\odot = 1.989e30 \text{ кг}$$

3. Результаты

3.1. Расчёт для чёрных дыр разной массы

Масса ЧД	M (кг)	dC/dt (c^{-1})	P (планк. ед.)	μ
$10 M_\odot$	$1.989e31$	$1.695e83$	$9.135e39$	1.000
$10^6 M_\odot$	$1.989e36$	$1.695e87$	$9.135e43$	1.000

$10^9 M_\odot$	1.989e39	1.695e90	9.135e46	1.000
----------------	----------	----------	----------	-------

3.2. Сравнение с другими системами

Система	Масса (кг)	μ
Солнце	1.989e30	1.000
Галактика ($10^{11} M_\odot$)	1.989e41	1.000
Чёрная дыра ($10^6 M_\odot$)	1.989e36	1.000

3.3. Отношение скоростей энтропии и сложности

Для сверхмассивной чёрной дыры

($10^6 M_\odot$) с темпом акреции $dM/dt \approx 1$

$M_\odot/\text{год} \approx 6.3e9 \text{ кг/с}:$

$$dS_{\text{BH}}/dt = (8\pi \times 1.989e36 / (2.176e-8)^2) \times 6.3e9 \approx 6.7e73 \text{ с}^{-1}$$

$$dC/dt = 1.695e87 \text{ с}^{-1}$$

$$(dS_{\text{BH}}/dt)/(dC/dt) \approx 4.0e-14$$

4. Обсуждение

4.1. Универсальность $\mu \approx 1$

Полученный результат $\mu \approx 1$ для чёрных дыр в точности совпадает со значениями для звёзд и галактик. Это подтверждает универсальность принципа $dC/dt = E/\hbar$: масса любой системы действительно является мерой её потенциала для изменения сложности, независимо от природы системы (барионная материя или релятивистский объект).

4.2. Качественное отличие чёрных дыр

Хотя количественно μ для чёрных дыр не отличается от других систем, качественное отличие фундаментально:

- В звёздах и галактиках сложность распределена по объёму (звёзды, планеты, структуры)
- В чёрных дырах вся сложность, соответствующая массе M , сосредоточена на двумерной поверхности горизонта событий (голографический принцип)

Это делает чёрные дыры эталонными концентриаторами сложности: они демонстрируют предельно возможную пространственную плотность dC/dt .

4.3. Малый вклад энтропии горизонта

Найденное отношение $(dS_{BH}/dt)/(dC/dt) \approx 10^{-14}$ указывает, что наблюдаемый через рост горизонта темп накопления сложности на 14 порядков меньше полного потенциала dC/dt . Это может означать, что:

1. Основная часть «потенциала сложности» чёрной дыры связана с внутренними (недоступными) степенями свободы
2. Энтропия Бекенштейна-Хокинга измеряет лишь одну компоненту сложности
3. Чёрная дыра как целое обладает сложностью, не сводимой к энтропии её горизонта

4.4. Связь с информационным парадоксом

Результат $\mu \approx 1$ согласуется с представлением о том, что информация (сложность), упавшая в чёрную дыру, не теряется, а преобразуется в иную форму. Постоянство μ при коллапсе в чёрную дыру может означать сохранение полной сложности системы.

4.5. Интуитивная аналогия: воронки в пространстве-времени

К результату $\mu \approx 1$ для систем любой природы можно прийти через простую механическую аналогию. Представьте водоворот в ванне и воронку смерча в океане. Несмотря на разницу в масштабах, оба явления описываются одним уравнением гидродинамики, а их "интенсивность" определяется отношением скорости потока к массе вовлечённой воды.

Аналогично, чёрная дыра — это "водоворот" в пространстве-времени, а звезда или галактика — "водоворот" в барионной материи. Размер разный, но безразмерная мера "кручения" — μ — одинакова. Именно это и показывает расчёт: $\mu = (dC/dt)/M \approx 1$. Вся разница — в том, где сосредоточена эта "вращательная" способность: у звезды — в объёме, у чёрной дыры — на сингулярной поверхности горизонта.

Эта аналогия подчёркивает, что принцип $dC/dt = E/\hbar$ выявляет инвариант, общий для всех гравитирующих систем, независимо от их внутренней структуры.

5. Заключение

1. Подтверждена универсальность принципа $dC/dt = E/\hbar$: для чёрных дыр разной массы выполняется $\mu = (dC/dt)/M \approx 1$ в планковских единицах, как и для барионных систем.
2. Чёрные дыры — эталонные концентраторы сложности: их уникальность не в величине dC/dt , а в предельной пространственной локализации всей сложности, соответствующей массе M .
3. Энтропия горизонта — лишь часть картины: скорость роста S_{BH} на 14 порядков меньше полного dC/dt , что указывает на существование дополнительных форм сложности в чёрных дырах.
4. Теоретический фундамент укреплён: принцип $dC/dt = E/\hbar$ работает в экстремальных условиях релятивистской гравитации, что расширяет область его применимости.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на выяснение природы «скрытой» сложности чёрных дыр и изучение связи принципа $dC/dt = E/\hbar$ с квантовой гравитацией.

Приложение А: Пример верификации расчёта

Для проверки вычислений представлен пошаговый расчёт безразмерного параметра μ для Солнца.

Исходные данные:

$$M = 1.989 \times 10^{30} \text{ кг (масса Солнца)}$$

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ м/с}$$

$$c^2 = 8.987551787 \times 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\hbar = 1.054571817 \times 10^{-34} \text{ Дж·с}$$

$$t_{pl} = 5.391247 \times 10^{-44} \text{ с (планковское время)}$$

$$M_{pl} = 2.176434 \times 10^{-8} \text{ кг (планковская масса)}$$

Шаг 1: Энергия системы

$$E = M \times c^2 = 1.989 \times 10^{30} \times 8.987551787 \times 10^{16} = 1.787 \times 10^{47} \text{ Дж}$$

Шаг 2: Скорость изменения сложности

$$(dC/dt) dC/dt = E / \hbar = 1.787 \times 10^{47} / 1.054571817 \times 10^{-34} = 1.695 \times 10^{81} \text{ с}^{-1}$$

Шаг 3: Перевод в планковские единицы

$$(P) P = dC/dt \times t_{pl} = 1.695 \times 10^{81} \times 5.391247 \times 10^{-44} = 9.135 \times 10^{37}$$

Шаг 4: Масса в планковских единицах

$$M_{pl_units} = M / M_{pl} = 1.989 \times 10^{30} / 2.176434 \times 10^{-8} = 9.135 \times 10^{37}$$

Шаг 5: Безразмерный параметр μ

$$\mu = P / M_{pl_units} = 9.135 \times 10^{37} / 9.135 \times 10^{37} = 1.000$$

Проверка: Полученное значение $\mu = 1.000$ подтверждает выполнение соотношения $dC/dt = E/\hbar$ в планковской системе единиц.

--- Для самостоятельной проверки можно использовать приведённые формулы с любыми значениями массы M . Соответствующий код доступен в репозитории.

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] Кемаев М. Зона обитаемости для сложности: количественные границы эволюции структур во Вселенной. Препринт Zenodo. 2025. DOI:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18376999>

[3] Исходный код и данные находятся в открытом репозитории GitHub:

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

[4] Bekenstein J.D. Black holes and entropy // Phys. Rev. D. 1973.

[5] Hawking S.W. Particle creation by black holes // Comm. Math. Phys. 1975.

[6] Carroll S.M. Spacetime and Geometry. Cambridge Univ. Press, 2019.

[7] Препринт данной статьи доступен на Zenodo:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18392321>

Автор: Кемаев Михаил Сергеевич

Статус: Препринт, готов к рецензированию