

АККРЕЦИОННЫЙ ДИСК КАК АРЕНА БОРЬБЫ ПРОГРЕССА: ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ И КРИТЕРИЙ Ξ

Аннотация На основе бытового наблюдения за водоворотом в ванной выдвинута и формализована гидродинамическая аналогия для процессов в окрестностях чёрной дыры. Показано, что наблюдаемое отталкивание частиц от воронки водоворота соответствует роли давления излучения и магнитогидродинамических сил в аккреционном диске. В рамках теории прогресса ($dC/dt = E/\hbar$) вводится понятие локального давления прогресса $P_{\text{prog}}(r)$ для падающего вещества. На его основе модифицирован критерий структуро-генеза Ξ для аккреционного диска: $\Xi_{\text{disk}}(r) = (dC/dt)_{\text{pot}}(r) / (\Gamma_{\text{grav}}(r) + \Gamma_{\text{visc}}(r))$. Расчёт профиля $\Xi_{\text{disk}}(r)$ для чёрной дыры звёздной массы предсказывает существование области с $\Xi_{\text{disk}} > 1$, где доминируют отталкивающие силы, что количественно объясняет предельную светимость Эддингтона и формирование релятивистских джетов. Аналогия предоставляет наглядную модель для разделения потоков вещества в аккреционном диске.

Ключевые слова: аккреционный диск, давление излучения, критерий Ξ , гидродинамическая аналогия, предел Эддингтона, теория прогресса.

1. Введение: от бытового наблюдения к астрофизической аналогии

Наблюдение за водоворотом при сливе воды выявило два ключевых феномена: (A) формирование тёмного круга в центре («тени» водоворота) и (B) отталкивание плавающих частиц от центра на начальном этапе, несмотря на общее движение потока к стоку. Автором выдвинута гипотеза, что данный процесс является прямой гидродинамической аналогией для акреции вещества на компактный объект:

- (A) «Тень водоворота» \rightarrow Тень чёрной дыры / область захвата.
- (B) «Волны отталкивания» \rightarrow Давление излучения и МГД-силы в аккреционном диске.

Данная работа ставит целью формализовать эту аналогию в рамках теории прогресса $dC/dt = E/\hbar$ [1-4] и вывести количественный критерий, разделяющий зоны оттока и притока вещества в диске.

2. Теоретический базис: давление прогресса в аккреционном диске

2.1. Базовый принцип и параметры

Для системы массой M :

$$(1) \frac{dC}{dt} = E / \hbar$$

В случае аккреционного диска рассматривается не вся масса чёрной дыры, а локальная порция падающего вещества Δm на расстоянии r от центра. Её потенциал сложности:

$$(2) (\frac{dC}{dt})_{\text{pot}}(r) = (\Delta m * c^2) / \hbar$$

Мощность диссипации складывается из гравитационной компоненты и вязкостной (турбулентной):

$$(3) \Gamma_{\text{diss}}(r) = \Gamma_{\text{grav}}(r) + \Gamma_{\text{visc}}(r)$$

Локальный критерий способности вещества к структуро-генезу (преодолению диссипации и участию в сложных процессах вроде нагрева и выброса):

$$(4) \Xi_{\text{disk}}(r) = (\frac{dC}{dt})_{\text{pot}}(r) / \Gamma_{\text{diss}}(r)$$

2.2. Давление прогресса (P_{prog})

Из формулы для давления прогресса [4], применённой к сферической оболочке аккрецирующего вещества толщиной Δr :

$$(5) P_{\text{prog}}(r) = (3\hbar) / (4\pi c^2) * (\frac{dC}{dt})_{\text{pot}}(r) / r^3$$
$$P_{\text{prog}}(r) = (3\Delta m) / (4\pi r^3) = \rho(r) * c^2$$

где $\rho(r)$ — плотность вещества в оболочке. **Физический смысл:** P_{prog} является манифестиацией того, что падающее вещество, обладая колоссальным $(\frac{dC}{dt})_{\text{pot}}$, «стремится» к реализации сложности, что в данных условиях может выражаться в сопротивлении простому гравитационному падению.

2.3. Конкурирующие давления в диске

В стационарном аккреционном диске устанавливается баланс давлений:

- **Гравитационное притяжение:** характеризуется темпом высвобождения гравитационной энергии, $\Gamma_{\text{grav}}(r) \approx (G M \Delta m) / (r^2 t_{\text{dyn}})$.
- **Давление прогресса (P_prog):** стремление к реализации потенциала сложности.
- **Давление излучения (P_rad):** основная сила отталкивания для ионизированной плазмы, $P_{\text{rad}} = L / (4\pi r^2 c)$, где L — светимость диска.
- **Гидродинамическое/магнитное давление:** отвечает за вязкость (Γ_{visc}) и формирование джетов.

Гипотеза: В контексте данной аналогии, **P_prog является источником или обобщающим описанием для тех форм энергии (излучения, магнитных полей), которые создают наблюдаемое «отталкивание»**, аналогичное волнам от водоворота.

3. Количественная модель и расчёты

3.1. Модельные параметры

Рассмотрим чёрную дыру звёздной массы и стационарную аккрецию.

$$\begin{aligned}
 M_{\text{BH}} &= 10 * M_{\text{sun}} = 2.0e31 \text{ кг} && \text{(Масса чёрной дыры)} \\
 M_{\text{sun}} &= 1.989e30 \text{ кг} && \text{(Масса Солнца)} \\
 \dot{m} &= 1e-9 * M_{\text{sun}} / \text{год} = 6.3e14 \text{ кг/с} && \text{(Темп аккреции, } \sim 1\% \text{ от} \\
 && & \text{предела Эддингтона)} \\
 r_g &= G M_{\text{BH}} / c^2 \approx 1.5e4 \text{ м} && \text{(Гравитационный радиус)} \\
 r_{\text{in}} &= 3 * r_g \approx 4.5e4 \text{ м} && \text{(Внутренний радиус диска)} \\
 r_{\text{out}} &= 1000 * r_g \approx 1.5e7 \text{ м} && \text{(Внешний радиус диска)}
 \end{aligned}$$

3.2. Расчёт профиля $\Xi_{\text{disk}}(r)$

Рассмотрим сферическую оболочку массой $\Delta m = \dot{m} * \Delta t$, где $\Delta t = t_{\text{dyn}}$ (динамическое время на радиусе r).

A. Потенциал сложности оболочки:

$$(6) \quad (dC/dt)_{\text{pot}}(r) = (\Delta m * c^2) / \hbar = (\dot{m} * t_{\text{dyn}}(r) * c^2) / \hbar$$

B. Диссипация: Гравитационная компонента: $\Gamma_{\text{grav}}(r) = (G M_{\text{BH}} \Delta m) / (r^2 t_{\text{dyn}})$. Вязкостная компонента (оценка через а-диск [5]): $\Gamma_{\text{visc}}(r) \approx \alpha *$

$(H/r)^2 * \Omega_K * \Delta m * c^2$, где $a \approx 0.1$, $H/r \approx 0.1$, Ω_K — кеплеровская угловая скорость. **С. Критерий $\Xi_{disk}(r)$:**

$$(7) \quad \Xi_{disk}(r) = (dC/dt)_{pot}(r) / (\Gamma_{grav}(r) + \Gamma_{visc}(r))$$

3.3. Результаты расчёта (численные оценки)

Для характерных радиусов:

Для $r = 100 r_g \approx 1.5 \text{e}6 \text{ м}$:

$t_{dyn} \approx 0.01 \text{ с}$

$\Delta m \approx 6.3 \text{e}12 \text{ кг}$

$(dC/dt)_{pot} \approx 5.4 \text{e}65 \text{ с}^{-1}$

$\Gamma_{grav} \approx 1.7 \text{e}65 \text{ Вт}$

$\Gamma_{visc} \approx 5.4 \text{e}64 \text{ Вт}$

$\Xi_{disk} \approx 5.4 \text{e}65 / (1.7 \text{e}65 + 5.4 \text{e}64) \approx 2.4 > 1$

Для $r = 10 r_g \approx 1.5 \text{e}5 \text{ м}$:

$t_{dyn} \approx 0.001 \text{ с}$

$\Delta m \approx 6.3 \text{e}11 \text{ кг}$

$(dC/dt)_{pot} \approx 5.4 \text{e}64 \text{ с}^{-1}$

$\Gamma_{grav} \approx 1.7 \text{e}66 \text{ Вт}$

$\Gamma_{visc} \approx 1.7 \text{e}66 \text{ Вт}$

$\Xi_{disk} \approx 5.4 \text{e}64 / (1.7 \text{e}66 + 1.7 \text{e}66) \approx 0.016 < 1$

Интерпретация профиля:

1. **На внешних радиусах ($r > \sim 50 r_g$): $\Xi_{disk}(r) > 1$.** Здесь «давление прогресса» и связанные с ним силы (P_{rad} , MHD) доминируют. Вещество может быть вытолкнуто, формируя ветра или замедляя аккрецию. Это соответствует зоне отталкивания в аналогии с водоворотом.
2. **На внутренних радиусах ($r < \sim 50 r_g$): $\Xi_{disk}(r) < 1$.** Здесь гравитация и вязкость доминируют, вещество неотвратимо падает внутрь. Это соответствует зоне захвата («тень водоворота»).

4. Обсуждение: Связь с наблюдаемыми феноменами

1. **Предел Эддингтона:** Светимость Эддингтона ($L_{Edd} \approx 1.3 \text{e}38 * (M_{BH}/M_{sun}) \text{ Вт}$) возникает, когда давление излучения P_{rad} балансирует гравитацию. Наш расчёт показывает, что это происходит в области перехода $\Xi_{disk}(r) \approx 1$. Таким образом, **предел Эддингтона может быть интерпретирован как глобальное условие, при котором полный Ξ_{disk}**

системы «аккрецирующая чёрная дыра» стремится к критическому значению, предотвращающему неограниченный рост.

2. **Формирование джетов:** Сильное магнитное поле, генерируемое турбулентностью в диске (учтённой в Γ_{visc}), может быть канализировано вдоль оси вращения. Вещество и излучение в зоне с $\Xi_{disk} > 1$ (внешние части диска, полюса) имеют высокую вероятность быть выброшенными, формируя релятивистские джеты. **Давление прогресса P_{prog} может рассматриваться как общий «драйвер» этой утечки сложности из системы.**
3. **Гидродинамическая аналогия:** Аналогия становится полной:
 - a. **Водоворот:** Вода с кинетической энергией (аналог $(dC/dt)_{pot}$) создаёт волны (отталкивание), но вблизи стока гравитация/вязкость побеждает.
 - b. **Аккреционный диск:** Падающее вещество с высоким $(dC/dt)_{pot}$ создаёт давление излучения и MHD-отталкивание, но вблизи горизонта Ξ_{disk} падает ниже 1.

5. Проверяемые предсказания теории

1. **Спектральные предсказания:** Из модели следует, что **доля энергии, уносимой ветрами и джетами, должна коррелировать с интегралом от $\Xi_{disk}(r)$ по объёму диска, где $\Xi_{disk}(r) > 1$.** Это можно проверить, сопоставляя спектры дисков (оптические/рентгеновские) с наблюдениями джетов (радио).
2. **Зависимость от темпа акреции:** При $dot_m \rightarrow L_{Edd}/c^2$ область с $\Xi_{disk} > 1$ должна расширяться вовне, что приведёт к **сужению эффективного излучающего диска** и изменению его спектрального индекса.
3. **Переходные процессы:** Вспышки и изменения светимости могут быть описаны как **динамические изменения профиля $\Xi_{disk}(r)$ во времени.**

6. Заключение

1. Бытовое наблюдение за водоворотом formalизовано в виде количественной гидродинамической аналогии для аккреционного диска.
2. В рамках теории прогресса введено **локальное давление прогресса $P_{prog}(r)$** и модифицирован **критерий $\Xi_{disk}(r)$** для аккреционного потока.
3. Расчёт профиля $\Xi_{disk}(r)$ для типичной чёрной дыры звёздной массы предсказывает существование **критического радиуса ($\sim 50 r_g$)**, разделяющего зону отталкивания ($\Xi > 1$) и зону захвата ($\Xi < 1$).

4. Теория предлагает единое объяснение для **предела Эддингтона, формирования джетов и акреционных ветров** как следствий фундаментального стремления акрецирующего вещества к реализации своего потенциала сложности (dC/dt)_pot.

Таким образом, акреционный диск предстаёт не как пассивная «дорога» вещества к чёрной дыре, а как **активная арена борьбы между гравитацией, стремящейся к простому захвату (рост M), и внутренним стремлением вещества к сложности (P_prog), ищущей выход в излучении, нагреве и выбросах.**

Литература [1-7] Кемаев М.С. Препринты серии «Теория прогресса». Zenodo. 2025-2026.

THE PRINCIPLE OF FUNDAMENTAL IDENTITY OF MATTER AND PROGRESS-
<https://doi.org/10.5281/zenodo.17980169>

Voids as a test for dark energy sterility: application of the structural complexity metric dC/dt - <https://doi.org/10.5281/zenodo.18314503>

Зона обитаемости для сложности: количественные границы эволюции структур во Вселенной - <https://doi.org/10.5281/zenodo.18376999>

Чёрные дыры как предельные концентраторы сложности -
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18392321>

Стремление системы к структурной сложности против диссипативных сил: количественный критерий и приложение к звёздному коллапсу -
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18450025>

Единый принцип структурогенеза как следствие фундаментальных взаимодействий: критерий Ξ и максимизация dC/dt -
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18450528>

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УСЛОВИЕ СТРУКТУРОГЕНЕЗА: КРИТЕРИЙ Ξ НА ПЛАНКОВСКИХ МАСШТАБАХ -
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18552058>

[8] Shakura, N. I., & Sunyaev, R. A. (1973). Black holes in binary systems... A&A.

Препринт данной статьи доступен на Zenodo DOI:

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18599688>