

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: (А) формирование тёмного круга в центре («тени» водоворота) и (В) 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 аккреции вещества на компактный объект:

- (А) «Тень водоворота» → Тень чёрной дыры / область захвата.
- (В) «Волны отталкивания» → 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 :

$$(1) \quad dC/dt = E / \hbar$$

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

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

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

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

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

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

2.2. Давление прогресса (P_{prog})

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

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

где $\rho(r)$ — плотность вещества в оболочке. **Физический смысл:** P_{prog} является манифестацией того, что падающее вещество, обладая колоссальным $(dC/dt)_{\text{pot}}$, «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 ионизованной 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.

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

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).

А. Потенциал сложности оболочки:

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

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

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

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

3.3. Результаты расчёта (численные оценки)

Для характерных радиусов:

Для $r = 100 r_g \approx 1.5e6$ м:

$t_{\text{dyn}} \approx 0.01$ с

$\Delta m \approx 6.3e12$ кг

$(dC/dt)_{\text{pot}} \approx 5.4e65 \text{ с}^{-1}$

$\Gamma_{\text{grav}} \approx 1.7e65 \text{ Вт}$

$\Gamma_{\text{visc}} \approx 5.4e64 \text{ Вт}$

$\Xi_{\text{disk}} \approx 5.4e65 / (1.7e65 + 5.4e64) \approx 2.4 > 1$

Для $r = 10 r_g \approx 1.5e5$ м:

$t_{\text{dyn}} \approx 0.001$ с

$\Delta m \approx 6.3e11$ кг

$(dC/dt)_{\text{pot}} \approx 5.4e64 \text{ с}^{-1}$

$\Gamma_{\text{grav}} \approx 1.7e66 \text{ Вт}$

$\Gamma_{\text{visc}} \approx 1.7e66 \text{ Вт}$

$\Xi_{\text{disk}} \approx 5.4e64 / (1.7e66 + 1.7e66) \approx 0.016 < 1$

Интерпретация профиля:

1. **На внешних радиусах ($r > \sim 50 r_g$): $\Xi_{\text{disk}}(r) > 1$.** Здесь «давление прогресса» и связанные с ним силы (P_{rad} , МНД) доминируют. Вещество может быть вытолкнуто, формируя ветра или замедляя аккрецию. Это соответствует **зоне отталкивания в аналогии с водоворотом**.
2. **На внутренних радиусах ($r < \sim 50 r_g$): $\Xi_{\text{disk}}(r) < 1$.** 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 ($L_{\text{Edd}} \approx 1.3e38 * (M_{\text{BH}}/M_{\text{sun}}) \text{ Вт}$) возникает, когда давление излучения P_{rad} балансирует гравитацию. Наш расчёт показывает, что это происходит в области перехода $\Xi_{\text{disk}}(r) \approx 1$. 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 $\Xi_{\text{disk}} > 1$ (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:
 - а. **Водоворот:** Вода с кинетической энергией (аналог $(dC/dt)_{\text{pot}}$) создаёт волны (отталкивание), но вблизи стока гравитация/вязкость побеждает.
 - б. **Аккреционный диск:** Падающее вещество с высоким $(dC/dt)_{\text{pot}}$ 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 $\Xi_{\text{disk}}(r)$ по объёму диска, где $\Xi_{\text{disk}}(r) > 1$** . Это можно проверить, сопоставляя спектры дисков (оптические/рентгеновские) с наблюдениями джетов (радио).
2. **Зависимость от темпа аккреции:** При $\dot{m} \rightarrow L_{\text{Edd}}/c^2$ область с $\Xi_{\text{disk}} > 1$ 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 $\Xi_{\text{disk}}(r)$ во времени**.

6. Заключение

1. Бытовое наблюдение за водоворотом формализовано в виде количественной гидродинамической аналогии для аккреционного диска.
2. В рамках теории прогресса введено **локальное давление прогресса $P_{\text{prog}}(r)$** и модифицирован **критерий $\Xi_{\text{disk}}(r)$** для аккреционного потока.
3. Расчёт профиля $\Xi_{\text{disk}}(r)$ 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 аккреционных ветров** как следствий фундаментального стремления аккрецирующего вещества к реализации своего потенциала сложности $(dC/dt)_{pot}$.

Таким образом, аккреционный 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.