

## **АККРЕЦИОННЫЙ ДИСК КАК АРЕНА БОРЬБЫ ПРОГРЕССА: ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ АНАЛОГИЯ И КРИТЕРИЙ $\Xi$**

**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  $\Xi$  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  $\Xi$ , 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  $\Delta m$  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 ( $P_{\text{prog}}$ )

Из формулы для давления прогресса [4], применённой к сферической оболочке аккрецирующего вещества толщиной  $\Delta r$ :

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

где  $\rho(r)$  — плотность вещества в оболочке. **Физический смысл:**  $P_{\text{prog}}$  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 ( $\Gamma_{\text{visc}}$ ) 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  $\alpha$ -диск [5]):  $\Gamma_{\text{visc}}(r) \approx \alpha *$

$(H/r)^2 * \Omega_K * \Delta m * c^2$ , где  $\alpha \approx 0.1$ ,  $H/r \approx 0.1$ ,  $\Omega_K$  — 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 ( $P_{\text{rad}}$ , 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  $P_{\text{rad}}$  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  $\Xi_{\text{disk}}$**

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

2. **Формирование джетов:** Сильное магнитное поле, генерируемое турбулентностью в диске (учтённой в  $\Gamma_{\text{visc}}$ ), 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  $P_{\text{prog}}$  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  $\Xi_{\text{disk}}$  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  $\Xi$  и максимизация  $dC/dt$  -  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18450528>

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ УСЛОВИЕ СТРУКТУРОГЕНЕЗА: КРИТЕРИЙ  $\Xi$  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>