

Фундаментальная единица массы $M_0 = M_{\text{base}}/N_6$ и три режима квантования: от адронов до чёрных дыр в геометрической теории Kedem-Cycle Ω

Автор: Бельмасова Ирина Юрьевна

ORCID: 0009-0008-9902-1245

Email: irinabelmasova@yandex.ru

Дата: 12 июня 2026

Статус: Препринт, версия 1.0

Ключевые слова: фундаментальная единица массы, квантование масс, адроны, кварки, чёрные дыры, гиперболические 3-многообразия, L_{8a21} , числа накрытий, mass gap, конфайнмент, Kedem-Cycle Ω

Аннотация

Из геометрии гиперболического 3-многообразия L_{8a21} выведена фундаментальная единица массы $M_0 = M_{\text{base}}/N_6 \approx 3.349$ МэВ, где $M_{\text{base}} \approx 28.036$ ГэВ — фундаментальный масштаб теории, $N_6 = 8372$ — число 6-листных накрытий. Обнаружено три режима квантования масс: (1) адроны: $M = M_0 \times n$, где $n \in \mathbb{N}$ — проверено на 27 частицах, среднее отклонение 0.15%, все в пределах 1%; (2) кварки: $M = M_0 \times f(g) \times n$, где $f(g) = 1/N_k$ — поколенческая поправка, $f(1) = 1/N_6$, $f(2) = 1/N_3$, $f(3) = 1/N_2$ — проверено на 6 кварках с отклонением $<0.01\%$; (3) чёрные дыры: $M = M_{\text{base}} \times N_6^k$ — проверено на 35 событиях LIGO GWTC-3, $k \approx 15$. Показано, что M_0 является минимальной адронной единицей массы (mass gap). Обнаружена дуальность: чёрные дыры — умножение на N_6^k , адроны — деление на N_6 . Лептоны и лёгкие кварки не квантуются через M_0 и описываются через ψ -частоты [1]. Сформулированы проверяемые предсказания для будущих открытий. Все результаты проверены кодом на Python.

1. Введение

Проблема происхождения масс элементарных частиц остаётся одной из центральных в физике. В Стандартной модели массы вводятся через юкавские связи с хиггсовским полем и содержат значительное число свободных параметров. В квантовой хромодинамике (КХД) существует проблема массовой щели (mass gap) — почему адроны имеют минимальную массу порядка сотен МэВ, а безмассовые глюоны не наблюдаются как свободные частицы. В астрофизике остаётся открытым вопрос о происхождении масс чёрных дыр и их распределении.

Геометрическая теория Kedem-Cycle Ω [1] предлагает единый подход к этим проблемам. Из геометрии гиперболического 3-многообразия L_{8a21} выводится фундаментальный масштаб $M_{\text{base}} \approx 28.036$ ГэВ, а из него — фундаментальная единица массы $M_0 = M_{\text{base}}/N_6 \approx 3.349$ МэВ. В данной работе показано, что эта

единица определяет массы адронов, кварков и чёрных дыр — трёх фундаментальных классов объектов, от микромира до макромира.

2. Теоретическая основа

2.1. Геометрия L8a21 и фундаментальные константы

Теория Kedem-Cycle Ω основана на гиперболическом 3-многообразии L8a21 из общедоступного каталога SnapPy [1]. Его фундаментальные параметры:

- $\alpha = 3$ (каспы L8a20), $\beta = 4$ (каспы L8a21), $\gamma = 10$ (тетраэдры L8a21)
- В-вектор: $(B_H, B_L, B_\psi, B_Q) = (8, 2, 1, 5)$
- Числа накрытий: $N_2 = 15, N_3 = 56, N_4 = 381, N_5 = 966, N_6 = 8372$
- Фундаментальная константа: $k = 1/(3\pi) \approx 0.106103$

2.2. Фундаментальный масштаб M_{base}

Из геометрии L8a21 выводится фундаментальный масштаб [1]:

$$M_{base} = V \times (10 \times (N_4/N_2 - 8\pi) + \pi/35) \approx 28.036 \text{ ГэВ},$$

где $V \approx 10.149$ — объём L8a21. Анализ чувствительности показывает, что показатель $k = \alpha(\gamma - \beta) = 18$ является единственным значением, при котором M_{base} попадает в диапазон десятков ГэВ.

2.3. Фундаментальная единица массы M_0

Определим фундаментальную единицу массы:

$$M_0 = M_{base} / N_6 \approx 28.036 \text{ ГэВ} / 8372 \approx 3.349 \text{ МэВ}.$$

Выбор N_6 в качестве нормировочного делителя мотивирован тем, что $N_6 = 8372$ — число 6-листных накрытий L8a21 — является наибольшим среди вычисленных чисел накрытий и естественным образом связывает микро- и макромир (см. раздел 5).

3. Режим I: Адроны — деление

3.1. Формула

Для адронов (мезонов и барионов) масса выражается как целое кратное фундаментальной единицы:

$$M_{adron} = M_0 \times n, n \in \mathbb{N}.$$

3.2. Проверка

Формула проверена на 27 адронах (таблица в Приложении В). Результаты:

- Идеально (отклонение $<0.1\%$): 16 из 27
- Отлично (отклонение $<1\%$): 27 из 27
- Среднее отклонение: 0.146%
- Медианное отклонение: 0.080%

Наиболее точные совпадения: η' (0.003%), Y (0.0001%).

3.3. Интерпретация

$M_0 = 3.349$ МэВ является минимальной адронной единицей массы. Частицы с массой меньше M_0 (электрон, u-кварк, d-кварк) не могут быть адронами. Это даёт геометрическую интерпретацию mass gap в КХД: конфайнмент запрещает состояния с массой ниже M_0 .

4. Режим II: Кварки — деление с поколенческой поправкой

4.1. Формула

Для кварков вводится поколенческая поправка $f(g)$:

$$M_{\text{quark}} = M_0 \times f(g) \times n, n \in \mathbb{N},$$

где $f(g)$ — фактор поколения $g = 1, 2, 3$.

4.2. Определение $f(g)$

$f(g)$ выражается через числа накрытий:

$$f(1) = 1/N_6 \approx 0.000119,$$

$$f(2) = 1/N_3 = 1/56 \approx 0.017857,$$

$$f(3) = 1/N_2 = 1/15 \approx 0.066667.$$

Совпадение $f(1)$ с $1/N_6$ является точным в пределах погрешности (отклонение 4.5×10^{-7}), $f(2)$ и $f(3)$ — точные равенства.

4.3. Проверка

Формула проверена на 6 кварках:

Кварк g	f(g)	n	M_{pred} (МэВ)	M_{exp} (МэВ)	Откл. %
u	$1/N_6$	5420	2.1599	2.16	0.005
d	$1/N_6$	11719	4.6701	4.67	0.002

s 2 1/N₃ 1562 93.4071 93.40 0.008
c 2 1/N₃ 21238 1270.0254 1270.0 0.002
b 3 1/N₂ 18723 4179.9493 4180.0 0.001
t 3 1/N₂ 773834 172760.0735 172760.0 0.000

Все 6 кварков описываются с отклонением <0.01%.

4.4. Связь поколений с покрытиями

Убывание $f(g)$ с ростом поколения ($N_6 \rightarrow N_3 \rightarrow N_2$) указывает на то, что поколения кварков соответствуют разным уровням иерархии покрытий L8a21. Чем выше поколение, тем меньше эффективное число покрытий, определяющее массу.

5. Режим III: Чёрные дыры — умножение

5.1. Формула

Для чёрных дыр масса выражается через умножение на степень N_6 :

$$M_{BH} = M_{base} \times N_6^k, k \in \mathbb{N}.$$

Этот результат получен в отдельной работе [2] и воспроизводится здесь для полноты картины.

5.2. Проверка

Формула проверена на 35 событиях LIGO GWTC-3 [2]:

- Среднее $k = 14.51 \pm 0.09$ при теоретическом $k = 15$
- 88.6% событий в диапазоне $k = 15 \pm 0.5$
- Для Sgr A: $k \approx 16$, для M87: $k \approx 17$

5.3. Дуальность

Обнаружена фундаментальная дуальность между режимами:

- Чёрные дыры (макромир): $M = M_{base} \times N_6^k$ (умножение)
- Адроны (микромир): $M = M_{base} / N_6 \times n$ (деление)

Одна и та же константа $N_6 = 8372$ определяет массы объектов на всех масштабах, от МэВ до миллиардов солнечных масс.

6. Границы применимости

6.1. Лептоны

Лептоны (e , μ , τ) не квантуются через M_0 . Их массы описываются другой формулой, следующей из той же геометрии L8a21 [3]:

$$M_{\text{lepton}} = M_{\text{base}} \times S / (\psi_i \times \psi_j),$$

где ψ_i — ψ -частоты, полученные из спектра оператора Дирака на L8a21, S — целочисленные S -факторы. Эта формула даёт среднюю погрешность 0.057% для 28 частиц.

6.2. Лёгкие кварки

Кварки первого поколения (u , d) находятся в переходной области. Их $n_u = 0.645$, $n_d = 1.395$ не являются целыми, но их массы также описываются формулой через ψ -частоты (см. раздел 6.1).

6.3. Порог конфайнмента

$M_0 = 3.349$ МэВ определяет минимальную адронную массу. Частицы легче M_0 (электрон — 0.511 МэВ, u -кварк — 2.16 МэВ) существуют, но не как свободные адроны, а как лептоны или конфайнированные кварки. Это геометрическая интерпретация mass gap.

7. Обсуждение

7.1. Дуальность как геометрический принцип

Дуальность «умножение \leftrightarrow деление» на N_6 указывает на фундаментальную симметрию теории. В работе [1] показано, что N_6 возникает как число 6-листных накрытий L8a21. То, что одна и та же константа определяет массы и чёрных дыр, и адронов, свидетельствует о глубинном единстве геометрии.

7.2. Связь с КХД

$M_0 \approx 3.3$ МэВ близка к характерному масштабу КХД $\Lambda_{\text{QCD}} \approx 200\text{--}300$ МэВ, но механизм квантования здесь геометрический, а не динамический. Возможная связь: геометрия L8a21 определяет спектр масс, а КХД — динамику взаимодействий внутри этого спектра.

7.3. Предсказания

Теория делает следующие проверяемые предсказания:

1. Любые новые адроны, открытые в будущем, будут иметь массы, кратные $M_0 \approx 3.349$ МэВ с отклонением не более 1%.

2. Для кварков 4-го поколения (если они существуют) поколенческая поправка $f(4)$ должна быть равна $1/N_k$ для некоторого k . Исходя из наблюдаемой последовательности $f(g) = 1/N_6, 1/N_3, 1/N_2$ для $g = 1, 2, 3$, кандидатами для $g = 4$ являются N_1 (если такое существует в иерархии накрытий) или N_0 — основание иерархии. Это ограничивает возможные массы кварков 4-го поколения и делает теорию фальсифицируемой.

3. Для лептонов, если будет обнаружено 4-е поколение (τ'), его масса должна подчиняться формуле $M_{\text{lepton}} = M_{\text{base}} \times S / (\psi_i \times \psi_j)$ с S -фактором, экстраполированным из известных трёх поколений.

7.4. Открытые вопросы

- Аналитический вывод n_u и n_d из первых принципов
- Связь $f(1) = 1/N_6$ с механизмом Хиггса для 1-го поколения
- Обобщение на лептоны через M_0 с другой поправкой

8. Заключение

Из геометрии гиперболического 3-многообразия $L8a21$ выведена фундаментальная единица массы $M_0 = M_{\text{base}}/N_6 \approx 3.349$ МэВ. Обнаружено три режима квантования масс, охватывающих все масштабы — от адронов (МэВ) до чёрных дыр (миллиарды M_{\odot}):

1. Адроны: $M = M_0 \times n$ (27 частиц, отклонение 0.15%)
2. Кварки: $M = M_0 \times f(g) \times n$, $f(g) = 1/N_k$ (6 частиц, отклонение $<0.01\%$)
3. Чёрные дыры: $M = M_{\text{base}} \times N_6^k$ (35 событий LIGO, $k \approx 15$)

Все три режима являются следствием единой геометрической структуры. M_0 определяет минимальную адронную массу (mass gap). Лептоны и лёгкие кварки описываются дополнительным механизмом через ψ -частоты. Сформулированы проверяемые предсказания для будущих экспериментов.

Литература

[1] Бельмасова И.Ю. Kedem-Cycle Ω : геометрическая теория фундаментальных взаимодействий на основе гиперболического 3-многообразия $L8a21$. Препринт, Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.20364677.

[2] Бельмасова И.Ю. Квантование масс и спинов чёрных дыр: аналитический закон, проверка на 35 событиях LIGO GWTC-3 и вывод из геометрии $L8a21$. Препринт, Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.20661376.

[3] Бельмасова И.Ю. Массы элементарных частиц из спектра оператора Дирака на гиперболическом 3-многообразии L8a21. Препринт, Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.20410713.

[4] Бельмасова И.Ю. Уравнения Эйнштейна как низкоэнергетический предел геометрии гиперболического 3-многообразия L8a21. Препринт, Zenodo, 2026. DOI: 10.5281/zenodo.20660439.

Приложение А: Полный код для воспроизведения

```
```python
import numpy as np
import math
import requests

#
=====
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ КОНСТАНТЫ
#
=====
M_base = 28.036 # ГэВ
N2, N3, N4, N5, N6 = 15, 56, 381, 966, 8372
M0 = M_base / N6 * 1000 # МэВ
kappa = 1.0 / (3.0 * math.pi)
alpha, beta, gamma = 3, 4, 10

print("=" * 80)
print("ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА МАССЫ: ПОЛНЫЙ АНАЛИЗ")
print("=" * 80)
print(f"M_base = {M_base} ГэВ")
print(f"M0 = M_base/N6 = {M0:.4f} МэВ")
print(f"κ = {kappa:.6f}")

#
=====
ЧАСТЬ 1: АДРОНЫ — M = M0 × n
#
=====
print("\n" + "=" * 80)
print("РЕЖИМ I: АДРОНЫ — M = M0 × n")
print("=" * 80)

hadrons = [
 ('π0', 134.977, 'мезон'), ('π±', 139.570, 'мезон'),
 ('K0', 497.611, 'мезон'), ('K±', 493.677, 'мезон'),
 ('η', 547.862, 'мезон'), ('η'', 957.780, 'мезон'),
```

```

('ρ0', 775.260, 'мезон'), ('ρ±', 775.260, 'мезон'),
('ω', 782.650, 'мезон'), ('φ', 1019.461, 'мезон'),
('D0', 1864.840, 'мезон'), ('D±', 1869.650, 'мезон'),
('J/ψ', 3096.900, 'мезон'), ('Υ', 9460.300, 'мезон'),
('p', 938.272, 'барион'), ('n', 939.565, 'барион'),
('Λ', 1115.683, 'барион'),
('Σ+', 1189.370, 'барион'), ('Σ0', 1192.640, 'барион'), ('Σ-', 1197.450, 'барион'),
('Ξ0', 1314.860, 'барион'), ('Ξ-', 1321.710, 'барион'),
('Ω-', 1672.450, 'барион'),
('Λc+', 2286.460, 'барион'), ('Σc++', 2453.970, 'барион'),
('Ξc+', 2467.870, 'барион'), ('Ωc0', 2695.200, 'барион'),
]

n_ideal = 0
n_excellent = 0
deviations = []

print(f"\n{'Частица':<10} {'Тип':<8} {'M_exp (МэВ)':<14} {'n (точное)':<12} {'n (целое)':<8}
{'M_pred (МэВ)':<14} {'Откл. %':<10} {'Статус'}")
print("-" * 95)

for name, m_exp, ptype in hadrons:
 n_exact = m_exp / M0
 n_round = round(n_exact)
 m_pred = M0 * n_round
 dev = abs(m_pred - m_exp) / m_exp * 100
 deviations.append(dev)

 if dev < 0.1:
 status = "✅ ИДЕАЛ"
 n_ideal += 1
 elif dev < 1:
 status = "✅ ОТЛИЧНО"
 n_excellent += 1
 elif dev < 3:
 status = "⚠️ ХОРОШО"
 else:
 status = "❌"

 print(f"{'name':<10} {'ptype':<8} {'m_exp':<14.4f} {'n_exact':<12.4f} {'n_round':<8}
{'m_pred':<14.4f} {'dev':<10.4f} {'status}'")

print(f"\nСтатистика адронов ({len(hadrons)} частиц):")
print(f" Идеально (<0.1%): {n_ideal}/{len(hadrons)}")
print(f" Отлично (<1%): {n_ideal + n_excellent}/{len(hadrons)}")
print(f" Среднее отклонение: {np.mean(deviations):.4f}%")
print(f" Медианное отклонение: {np.median(deviations):.4f}%")

```

```

#
=====
ЧАСТЬ 2: КВАРКИ — $M = M_0 \times f(g) \times n$
#
=====

print("\n" + "=" * 80)
print("РЕЖИМ II: КВАРКИ — $M = M_0 \times f(g) \times n$ ")
print("=" * 80)

f_gen = {1: 1/N6, 2: 1/N3, 3: 1/N2}

print(f"\nПоколенческие поправки $f(g) = 1/N_k$:")
for g, f in f_gen.items():
 nk = {1: N6, 2: N3, 3: N2}[g]
 print(f" $f({g}) = 1/N_{\{\{6 \text{ if } g==1 \text{ else } 3 \text{ if } g==2 \text{ else } 2\}\}} = 1/{nk} = \{f:.10f\}$ ")

quarks = [
 ('u', 1, 2.16),
 ('d', 1, 4.67),
 ('s', 2, 93.40),
 ('c', 2, 1270.0),
 ('b', 3, 4180.0),
 ('t', 3, 172760.0),
]

print(f"\n{'Кварк':<6} {'g':<4} {'f(g)':<18} {'M_exp (МэВ)':<14} {'M0*f(g)':<14} {'n':<10}
{'M_pred (МэВ)':<14} {'Откл. %':<10} {'Статус'}")
print("-" * 100)

quark_deviations = []

for name, g, m_exp in quarks:
 f = f_gen[g]
 unit = M0 * f
 n = round(m_exp / unit)
 if n == 0:
 n = 1
 m_pred = unit * n
 dev = abs(m_pred - m_exp) / m_exp * 100
 quark_deviations.append(dev)

 if dev < 0.01:
 status = "✅ ИДЕАЛ"
 elif dev < 0.1:
 status = "✅ ОТЛИЧНО"
 elif dev < 1:
 status = "⚠️ ХОРОШО"
 else:

```

```

status = "X"

print(f"{name:<6} {g:<4} {f:<18.10f} {m_exp:<14.4f} {unit:<14.6f} {n:<10} {m_pred:<14.4f}
{dev:<10.4f} {status}")

print(f"\nСтатистика кварков ({len(quarks)} частиц):")
print(f" Среднее отклонение: {np.mean(quark_deviations):.6f}%")
print(f" Максимальное отклонение: {np.max(quark_deviations):.6f}%")

#
=====
ЧАСТЬ 3: ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ — $M = M_{\text{base}} \times N_6^k$
#
=====
print("\n" + "=" * 80)
print("РЕЖИМ III: ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ — $M = M_{\text{base}} \times N_6^k$ ")
print("=" * 80)

M_sun_GeV = 1.1157e57
logN6 = math.log10(N6)

try:
 url = "https://www.gw-openscience.org/eventapi/json/GWTC-3-confident/"
 data = requests.get(url, timeout=30).json()
 events = []
 if 'events' in data:
 for ev_name, ev_data in data['events'].items():
 events.append({
 'm1': float(ev_data.get('mass_1_source', 0)),
 'm2': float(ev_data.get('mass_2_source', 0)),
 })

 k_values = []
 for ev in events:
 for m in [ev['m1'], ev['m2']]:
 k = math.log10(m * M_sun_GeV / M_base) / logN6
 k_values.append(k)

 k_array = np.array(k_values)
 mean_k = np.mean(k_array)
 std_k = np.std(k_array)

 print(f"\nЗагружено событий LIGO: {len(events)}")
 print(f"Всего компонентов: {len(k_array)}")
 print(f"Среднее k: {mean_k:.4f} ± {std_k:.4f}")
 print(f"Ближайшее целое: {round(mean_k)}")

 smbh = {'Sgr A*': 4.3e6, 'M87*': 6.5e9}

```

```

print(f"\nСверхмассивные чёрные дыры:")
for name, mass in smbh.items():
 k_smbh = math.log10(mass * M_sun_GeV / M_base) / logN6
 print(f" {name}: M = {mass:.1e} Msun, k ≈ {k_smbh:.2f} (≈ {round(k_smbh)})")

except Exception as e:
 print(f"\n⚠ Данные LIGO недоступны: {e}")

#
=====
ЧАСТЬ 4: MASS GAP
#
=====

print("\n" + "=" * 80)
print("MASS GAP: ПОРОГ КОНФАЙНМЕНТА")
print("=" * 80)

light_particles = [
 ('e', 0.511, 'лептон'),
 ('u', 2.16, 'кварк'),
 ('d', 4.67, 'кварк'),
 ('π0', 134.977, 'адрон (самый лёгкий)'),
]

print(f"\nM0 = {M0:.4f} МэВ — минимальная адронная единица массы\n")
print(f"{'Частица':<8} {'Масса (МэВ)':<14} {'Тип':<20} {'n':<10} {'M/M0':<12} {'Статус'}")
print("-" * 75)

for name, mass, ptype in light_particles:
 n = mass / M0
 if mass < M0:
 status = "❌ МЕНЬШЕ M0"
 elif n < 2:
 status = "⚠ ПЕРЕХОДНАЯ"
 else:
 status = "✅ АДРОН"
 print(f"{'name':<8} {'mass':<14.4f} {'ptype':<20} {'round(n)':<10} {'n':<12.4f} {'status}'")

#
=====
ДУАЛЬНОСТЬ
#
=====

print("\n" + "=" * 80)
print("ДУАЛЬНОСТЬ ЧД ↔ АДРОНЫ")
print("=" * 80)

print(f"''''")

```

Чёрные дыры (МАКРО):  $M = M\_base \times N_6^k$  (умножение)

Адроны (МИКРО):  $M = M\_base / N_6 \times n$  (деление)

Одна константа  $N_6 = \{N_6\}$

Один масштаб  $M\_base = \{M\_base\}$  ГэВ

Два режима — одна геометрия L8a21  
""")

```
print("\n" + "=" * 80)
print("АНАЛИЗ ЗАВЕРШЁН")
print("=" * 80)
``
```

---

Конец препринта