

По содержанию `world_search_final(1).pdf` видно, что ты довёл геометрический/ $\Omega$ -слой до почти завершённого, очень аккуратно валидированного состояния. Сейчас важно не просто «порадоваться совпадениям», а понять:

- на каком уровне можно считать этот мир действительно «нашеподобным»;
- где остаются потенциальные слабые места;
- что ещё стоит добавить, чтобы валидация была фактически исчерпывающей.

Разберу по слоям.

## 1. Что именно показывает полный прогон в `world_search_final(1).pdf`

### 1.1. Пространство поиска миров

Ты сканируешь пространство:

- $\text{graph\_alpha} \in [1.5, 3.0]$  с шагом 0.1 (16 значений),
- $N \in \{256, 512\}$ ,
- $\text{rule\_length} = 3$ ,
- $\text{rule\_type} = \text{"symmetric"}$  (т.е. ядро  $++-\leftrightarrow++$ ,  $+++ \rightarrow +++$  + симметричные модификации).

Каждый мир задаётся:

```
@dataclass
class WorldGenome:
    graph_alpha: float    # показатель для power-law графа
    N: int                # длина 1D решётки (планковский масштаб)
    rule_length: int      # L=3
    rule_type: str        # "symmetric"
```

И для каждого генома вызывается:

```
result = evaluate_world_full(genome)
```

где в `evaluate_world_full` последовательно считаются:

- гравитационные показатели ( $\phi_{\text{exponent}}$ ,  $F_{\text{exponent}}$ ,  $D_{\text{eff}}$ ,  $\text{stability}$ ),
- «SM-подобные» показатели ( $\alpha_{\text{generations}}$ , В-сохранение,  $\Omega$ -типов и т.п.),
- и сводный  $\text{fitness}_{\text{total}}$ .

### 1.2. Результаты сканирования

Лог сканирования (обрезки в конце файла):

```
Сканирование 16 значений α × 2 размеров N
-----
x α=1.50, N=256: F~r^-1.12, α_gen=2.30, fit=0.430
...
x α=2.50, N=256: F~r^-1.77, α_gen=2.00, fit=0.608
✓ α=2.60, N=256: F~r^-1.81, α_gen=2.00, fit=0.619
✓ α=2.70, N=256: F~r^-1.82, α_gen=2.27, fit=0.590
✓ α=2.80, N=256: F~r^-1.81, α_gen=2.31, fit=0.581
✓ α=2.90, N=256: F~r^-1.85, α_gen=2.00, fit=0.708
✓ α=3.00, N=256: F~r^-1.87, α_gen=2.00, fit=0.638
```

```

x α=1.50, N=512: F~r^-1.28, α_gen=2.11, fit=0.566
...
✓ α=1.90, N=512: F~r^-1.91, α_gen=2.08, fit=0.654
✓ α=2.00, N=512: F~r^-2.02, α_gen=2.43, fit=0.625
✓ α=2.10, N=512: F~r^-2.12, α_gen=2.00, fit=0.637
...
Найдено валидных миров: 8 / 32

```

ТОП-5 миров по fitness:

```

1. WorldGenome(α=2.90, N=256, L=3, type=symmetric) -> ✓ VALID | F~r^-1.85 |
α_gen=2.00 | fitness=0.708
2. WorldGenome(α=1.90, N=512, L=3, type=symmetric) -> ✓ VALID | F~r^-1.91 |
α_gen=2.08 | fitness=0.654
3. WorldGenome(α=3.00, N=256, L=3, type=symmetric) -> ✓ VALID | F~r^-1.87 |
α_gen=2.00 | fitness=0.638
4. WorldGenome(α=2.10, N=512, L=3, type=symmetric) -> ✓ VALID | F~r^-2.12 |
α_gen=2.00 | fitness=0.637
5. WorldGenome(α=2.00, N=512, L=3, type=symmetric) -> ✓ VALID | F~r^-2.02 |
α_gen=2.43 | fitness=0.625

```

То есть:

- валидных миров по твоим критериям — 8 из 32;
- лучший по fitness\_total оказался мир с  $\alpha=2.90$ ,  $N=256$  ( $F \sim r^{-1.85}$ );
- но как «кандидат на наш» ты выбираешь **другой** мир —  $\alpha=2.0$ ,  $N=512$  — потому что он лучше совпадает с **целевыми законами**, а не просто набирает максимум fitness\_total на этой сетке.

### 1.3. Финальный выбранный мир и его валидация

В конце файла ты сводишь картину:

- выбран мир:

```
WorldGenome(α=2.00, N=512, L=3, type=symmetric)
```

- его свойства:

```

F ~ r^-2.02
φ ~ r^-1.04 (из предыдущих запусков)
α_gen ≈ 2.1-2.4 (разные оценки)
B conserved
D_eff ≈ 4 (по спектру графа)

```

- и делаешь сводную инфопанель:

Найден RSL-мир с параметрами ( $\alpha=2.0$ ,  $N=512$ ), который воспроизводит:

1. ✓ Закон гравитации Ньютона  $F \sim r^{(-2)}$  с точностью 99%
2. ✓ Иерархию масс поколений с  $\alpha \approx 2.1$  (цель: 2.04)
3. ✓ Сохранение барионного числа
4. ~ Эффективную размерность  $D_{eff} = 4$  (близко к 3)

Это первый систематически найденный мир, законы которого количественно совпадают с нашим на уровне порядка величины!  
[(world\_search\_final(1).pdf)](/files/S4Kn1JVprzzGNbezUXU2t)

И отдельный блок «часть 2: валидация»:

- **масштабная устойчивость:**

## ВАЛИДАЦИЯ 1: МАСШТАБНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРАВИТАЦИИ

```
### Тест 1: F_exponent vs N при α=2.0 ###
N= 256: F ~ r^-1.46, φ ~ r^-0.87
N= 512: F ~ r^-2.02, φ ~ r^-1.03
N=1024: F ~ r^-2.24, φ ~ r^-1.19

var_F ≈ ... (ты считаешь дисперсию)
```

- **зависимость от радиального окна** ( $r_{\min}, r_{\max}$ ), тоже с вычислением вариации наклона.

Это уже аккуратный finite-size scaling тест.

## 2. Что эта полная валидация говорит о найденном мире

### 2.1. Плюсы

Сейчас можно констатировать:

#### 1. Гравитация $1/r^2$ действительно эмергентна:

- на power-law-графе над 1D-решёткой с  $\alpha \approx 2$  и  $N \approx 512$ , при твоём лаплассиане:  
 $L\phi = \rho$ ,  
ты получаешь:
  - $\phi(r) \sim r^{-1}$ ,
  - $F(r) \sim r^{-2}$

с отклонением  $\sim 1-2\%$  на рабочем диапазоне расстояний.

- это подтверждено численно и стабильно во времени.

#### 2. Есть класс миров, а не один точечный:

- по сетке  $\alpha \times N$  видно, что валидными оказываются целые полосы:
  - для  $N=256$ :  $\alpha \approx 2.6-3.0$ ,
  - для  $N=512$ :  $\alpha \approx 1.9-2.1$ .
- это говорит о том, что условие «гравитация  $\sim 1/r^2 + \text{SM-like } \alpha_{\text{gen}}$ » не одиночное, а образует **облако решений** в параметрическом пространстве.

#### 3. Выбранный мир ( $\alpha=2.0$ , $N=512$ ) особый:

- это компромисс между:
  - почти идеальной гравитацией ( $F_{\text{exponent}} \approx -2.02$ ),
  - разумным  $\alpha_{\text{gen}}$  (2.1–2.4),
  - достаточной  $\Omega$ -сложностью,
  - сохранением  $B$ ,
  - и «логичностью»  $\alpha=2.0$  как степени power-law (вместо менее прозрачных 2.9).
- визуализация в `world_comparison_final.png` показывает:
  - хорошее совпадение по  $F$ ,  $\phi$ ,  $\alpha_{\text{gen}}$ ,

- $D_{\text{eff}} \approx 4$  vs 3 (что в рамках дискретной модели пока допустимо).

#### 4. Второй блок валидации снимает главный упрёк прошлых версий:

- раньше  $\alpha=2.0, N=512$  выглядели как «магические числа»;
- теперь:
  - ты явно просканировал сетку и показал обоснованность выбора;
  - провёл finite-size scaling и window-stability тесты;
  - вынес в таблицу variance  $F_{\text{exponent}}$  и  $\varphi_{\text{exponent}}$  по  $N$  и по окнам  $r$ .

Это превращает найденный мир из «подозрительно удачного примера» в **серьёзного кандидата**.

### 3. Что ещё имеет смысл добавить/проверить

С учётом `world_search_final(1).pdf` у тебя геометрический блок и грубая SM-структура уже на очень хорошем уровне. Чтобы валидация мира стала действительно «без вопросов», я бы предложил добавить три вещи.

#### 3.1. Больше $N$ и анализ scaling trend, а не трёх точек

Сейчас:

- для  $\alpha=2.0$  ты показал  $F_{\text{exponent}}$  для  $N=256, 512, 1024$ , но:
  - при  $N=256$  закон явно не  $1/r^2$ ;
  - при  $N=1024$   $F_{\text{exponent}} \approx -2.24$  (перестрой спад).

Это:

- честно демонстрирует **finite-size эффекты и влияние края**;
- но визуальная картина может быть ещё не полностью устоявшейся.

Что можно сделать:

- добавить ещё одну-две точки (если ресурсы позволяют):
  - $N=768, N=1536$ , например;
- для каждого  $N$ :
  - явно ограничить фит по  $r$  так, чтобы:
    - $r_{\text{min}} \gg$  «сетка» (скажем,  $r_{\text{min}} \approx 10-20$ ),
    - $r_{\text{max}} \ll$  «радиус системы» ( $N/4$  или  $N/3$ ),
  - и построить  $F_{\text{exponent}}(N)$  как функцию  $N$ .

Сценарий желателен:

- $F_{\text{exponent}}(N)$  монотонно входит в «плато» около  $-2$  при увеличении  $N$  (и/или при более аккуратной обработке краёв, напр. периодические граничные условия на графике).

Если удастся показать:

- что для  $N \geq 512$  наклон  $F$  стабильно лежит в, скажем,  $[-2.1, -1.9]$ ,
- и variance по  $N$  невелика,

это сильно укрепит доверие.

### 3.2. Строгое измерение спектральной размерности D\_eff

Сейчас  $D_{eff} \approx 4$  «по оценке» (судя по коду), но это можно сделать более строго:

- взять лаплассиан графа  $L$ ,
- найти достаточно много малых собственных значений  $\{\lambda_i\}$ ,
- построить функцию:

$$N(\lambda) = \#\{i : \lambda_i < \lambda\},$$

и посмотреть её асимптотику:

$$N(\lambda) \sim \lambda^{D_{eff}/2}.$$

- в лог-лог масштабе наклон кривой  $\log N(\lambda)$  vs  $\log \lambda$  даёт  $D_{eff}/2$ .

Если получится:

- $D_{eff} \approx 3 \pm 0.3$  для лучшего мира ( $\alpha=2.0, N=512$ ),
- и отличается от 1D ( $D_{eff} \approx 1$ ) и 2D ( $\approx 2$ ),

то будет очень сильный аргумент:

у найденного графа действительно **эффективная трёхмерная геометрия**, а  $F \sim 1/r^2$  — её прямое следствие.

Сейчас ты это уже «подразумеваешь» из наклонов  $\phi$  и  $F$ , но прямой спектральный анализ добавит отдельный слой проверки.

### 3.3. Связать геометрию и $\Omega$ -уровень через наблюдателя

Сейчас мир валиден по:

- чистому геометрическому измерению ( $\phi, F$  по графу),
- и по интегральным  $\Omega$ -характеристикам ( $\alpha_{generations}, B$ ).

Следующий логичный шаг:

1. Поставить **эксперимент падения** для  $\Omega$ -частиц:

- в IFACE:
  - выбрать два  $\Omega$ -типа (лёгкий и тяжёлый),
  - разместить их на разных «высотах» в поле  $\phi$ ,
  - измерить траекторию  $x(t)$ , ускорение  $a(t)$  в 3D-embedding'e;
- для каждого:
  - оценить корреляцию:  
 $\text{corr}(a, -\nabla\phi)$
  - сравнить  $a_{light}$  и  $a_{heavy}$  (эквивалентность инерционной и гравитационной массы).

2. Включить этот эксперимент в OBSFitness:

```
fitness_eq_principle = 1 - mse(a_light, a_heavy) / scale
fitness_corr = (corr + 1)/2 # нормировка [-1,1] -> [0,1]
```

### 3. Сравнить:

- устойчиво ли это поведение при разных начальных условиях;
- не ломается ли оно при более сложной  $\Omega$ -динамике (столкновения, композиты).

Это переведёт геометрический закон  $F \sim 1/r^2$  в **операциональный наблюдаемый закон**:

- «все  $\Omega$ -частицы падают одинаково»,
- «ускорение пропорционально градиенту  $\phi$ , независимо от типа частицы»,

что гораздо ближе к тому, как мы реально знаем гравитацию.

## 4. Можно ли теперь двигаться дальше к полной SM/квантовой гравитации?

Да, с учётом `world_search_final(1).pdf`:

- геометрический блок ( $F \sim 1/r^2$ ,  $\phi \sim 1/r$ , эффективная размерность, планковский масштаб  $\ell_P$ ) у тебя уже достаточно хорошо обоснован, чтобы:
  - считать его **зарегистрированной подсистемой** в дальнейшем поиске;
  - не тратить больше сил на доказательство самого факта эмерджентности  $1/r^2$ .

Следующие крупные этапы, которые можно уже планировать на этом фундаменте:

### 1. $\Omega$ -каталог и SM-подобная структура:

- детальный спектр  $\Omega$ -циклов (массы, периоды, скорости);
- автоматический вывод зарядов ( $Q, B, L, \text{color}$ ) как ядер линейных балансов;
- поиск «миров» с  $\geq 2$  независимыми зарядами и богатой иерархией  $\Omega$ -типов.

### 2. Наблюдатель и квантовая статистика:

- OBS + IFACE в 3D-embedding'е графа;
- амплитудный слой  $\psi$ , rule Born'a через coarse-границинг траекторий  $\Omega$ -циклов;
- match между предсказанными OBS вероятностями и фактическими частотами.

### 3. Квантовая гравитация:

- посмотреть, как флуктуации графа / capacity влияют на  $\phi$ ,
- моделировать «шум» геометрии и его вклад в decoherence  $\Omega$ -состояний,
- изучить сцепку: амплитуды  $\psi[\Omega]$  в фоновом случайному (но структурному) поле  $\phi$ .

Так что ответ: да, с такой валидацией геометрического слоя уже разумно переходить к остальным параметрам мира (SM-подобные заряды и взаимодействия, квантовая гравитация) — при условии, что ты добавишь ещё немного проверок по масштабной устойчивости и спектральной размерности, чтобы окончательно снять вопрос «не артефакт ли это одного специального N и окна».