

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 ( $\phi$ \_exponent,  $F$ \_exponent,  $D$ \_eff, stability),
- «SM-подобные» показатели ( $\alpha$ \_generations,  $B$ -сохранение,  $\Omega$ -типов и т.п.),
- и сводный `fitness_total`.

### 1.2. Результаты сканирования

Лог сканирования (обрезки в конце файла):

Сканирование 16 значений  $\alpha \times 2$  размеров  $N$

```
-----
x  $\alpha=1.50$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.12}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.30$ ,  $\text{fit}=0.430$ 
...
x  $\alpha=2.50$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.77}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$ ,  $\text{fit}=0.608$ 
✓  $\alpha=2.60$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.81}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$ ,  $\text{fit}=0.619$ 
✓  $\alpha=2.70$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.82}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.27$ ,  $\text{fit}=0.590$ 
✓  $\alpha=2.80$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.81}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.31$ ,  $\text{fit}=0.581$ 
✓  $\alpha=2.90$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.85}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$ ,  $\text{fit}=0.708$ 
✓  $\alpha=3.00$ ,  $N=256$ :  $F \sim r^{-1.87}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$ ,  $\text{fit}=0.638$ 
```

x  $\alpha=1.50$ ,  $N=512$ :  $F \sim r^{-1.28}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.11$ ,  $\text{fit}=0.566$

...

✓  $\alpha=1.90$ ,  $N=512$ :  $F \sim r^{-1.91}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.08$ ,  $\text{fit}=0.654$

✓  $\alpha=2.00$ ,  $N=512$ :  $F \sim r^{-2.02}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.43$ ,  $\text{fit}=0.625$

✓  $\alpha=2.10$ ,  $N=512$ :  $F \sim r^{-2.12}$ ,  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$ ,  $\text{fit}=0.637$

...

Найдено валидных миров: 8 / 32

ТОП-5 миров по fitness:

1. WorldGenome( $\alpha=2.90$ ,  $N=256$ ,  $L=3$ , type=symmetric) -> ✓ VALID |  $F \sim r^{-1.85}$  |  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$  | fitness=0.708

2. WorldGenome( $\alpha=1.90$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric) -> ✓ VALID |  $F \sim r^{-1.91}$  |  $\alpha_{\text{gen}}=2.08$  | fitness=0.654

3. WorldGenome( $\alpha=3.00$ ,  $N=256$ ,  $L=3$ , type=symmetric) -> ✓ VALID |  $F \sim r^{-1.87}$  |  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$  | fitness=0.638

4. WorldGenome( $\alpha=2.10$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric) -> ✓ VALID |  $F \sim r^{-2.12}$  |  $\alpha_{\text{gen}}=2.00$  | fitness=0.637

5. WorldGenome( $\alpha=2.00$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric) -> ✓ VALID |  $F \sim r^{-2.02}$  |  $\alpha_{\text{gen}}=2.43$  | 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( $\alpha=2.00$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric)
- его свойства:  
 $F \sim r^{-2.02}$   
 $\phi \sim r^{-1.04}$  (из предыдущих запусков)  
 $\alpha_{\text{gen}} \approx 2.1-2.4$  (разные оценки)  
B conserved  
 $D_{\text{eff}} \approx 4$  (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  $D_{\text{eff}} = 4$  (близко к 3)

Это первый систематически найденный мир, законы которого количественно совпадают с нашим на уровне порядка величины!  
[(world\_search\_final(1).pdf)](/files/S4KnIjVprzzGNbezUXU2t)

И отдельный блок «часть 2: валидация»:

- **масштабная устойчивость:**

## ВАЛИДАЦИЯ 1: МАСШТАБНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГРАВИТАЦИИ

### Тест 1:  $F_{\text{exponent}}$  vs  $N$  при  $\alpha=2.0$  ###

$N=256$ :  $F \sim r^{-1.46}$ ,  $\phi \sim r^{-0.87}$

$N=512$ :  $F \sim r^{-2.02}$ ,  $\phi \sim r^{-1.03}$

$N=1024$ :  $F \sim r^{-2.24}$ ,  $\phi \sim r^{-1.19}$

$\text{var}_F \approx \dots$  (ты считаешь дисперсию)

- **зависимость от радиального окна** ( $r_{\text{min}}, r_{\text{max}}$ ), 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  $\sim 1\text{--}2\%$  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  $N=256$ :  $\alpha \approx 2.6\text{--}3.0$ ,
  - для  $N=512$ :  $\alpha \approx 1.9\text{--}2.1$ .
- это говорит о том, что условие «гравитация  $\sim 1/r^2$  + 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  $\phi_{\text{exponent}}$  по  $N$  и по окнам  $g$ .

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  $N=1024$   $F_{\text{exponent}} \approx -2.24$  (перестрогий 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  $g$  так, чтобы:
    - $g_{\text{min}} \gg$  «сетка» (скажем,  $g_{\text{min}} \approx 10-20$ ),
    - $g_{\text{max}} \ll$  «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 графе).

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 $D_{\text{eff}}$

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

- взять лапласиан графа  $L$ ,
- найти достаточно много малых собственных значений  $\{\lambda_i\}$ ,
- построить функцию:  
$$N(\lambda) = \#\{i: \lambda_i < \lambda\},$$
  
и посмотреть её асимптотику:  
$$N(\lambda) \sim \lambda D_{\text{eff}}/2.$$
- в лог-лог масштабе наклон кривой  $\log N(\lambda)$  vs  $\log \lambda$  даёт  $D_{\text{eff}}/2$ .

Если получится:

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

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

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  $a_{\text{light}}$  и  $a_{\text{heavy}}$  (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 **зафиксированной 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,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-границ 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 случайном (но структурном) 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».