

Сейчас у тебя фактически есть то, чего ты изначально хотел добиться:

- отдельно, через эволюционный и ILP-поиск, найдено **микро-ядро SM-подобных правил** длины 3, дающее богатый Ω -зоопарк и локальные законы сохранения.
([sm_evolutionary_search.pdf](#))
- отдельно, через систематический скан по α и N , найден **класс миров с power-law-геометрией**, где:
 - гравитация $F(r) \approx r^{\{F_exponent\}}$ с $F_exponent \approx -2$,
 - «поколенческий» показатель $\alpha_gen \approx 2.0-2.4$ (согласуется с целевым 2.04),
 - законы сохранения барионного числа B (и частично Q) выполняются.
([world_search_final.pdf](#))

В `world_search_final.pdf` ты сделал:

- grid search по $\alpha \in [1.5, 3.0]$, $N \in \{256, 512\}$;
- получил только 8 «валидных» миров из 32 по строгим критериям;
- среди них есть:
 - миры с $N=512$, $\alpha \approx 2.0-2.1$: $F_exponent \approx -2.02 \dots -2.12$;
 - миры с $N=256$, $\alpha \approx 2.9-3.0$: $F_exponent \approx -1.85 \dots -1.87$.

Детальный тест:

```
WorldGenome( $\alpha=2.00$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric)  
✓ VALID |  $F \sim r^{-2.02}$  |  $\alpha\_gen=2.44$  | fitness=0.624
```

- ✓ $F \sim r^{-2}$ гравитация
- ✓ $\alpha_gen = 2.44 \approx 2.04$
- ✓ B conserved

То есть:

- найден **конкретный мир** ($\alpha=2.0$, $N=512$, $L=3$, symmetric), который:
 - реализует гравитацию $\sim 1/r^2$,
 - имеет «правильную» генерационную структуру $\alpha_gen \approx 2.4$,
 - сохраняет B ,
 - и даёт осмысленный $fitness_total \approx 0.62$. ([world_search_final.pdf](#))

Дальше вопрос: что ещё нужно добавить/проверить, чтобы валидация этой находки была по-настоящему серьёзной, а не только «красивая картинка»?

Ниже — по пунктам.

1. Масштабная устойчивость: зависимость от N и диапазона r

Сейчас:

- сканировались только $N \in \{256, 512\}$;
- для $N=512$ и $\alpha \approx 2$:
 - $F_exponent \approx -2.02$;
 - мир считается VALID, если $|F_exponent+2| < 0.2$ и $R^2 > 0.8$;

- для $N=256$ «лучший» мир имеет $\alpha \approx 2.9$, $F_exponent \approx -1.85$, $fitness \approx 0.708$, но по критерию близости к -2 он хуже.

Что нужно добавить:

1. Полный finite-size scaling тест:

- взять найденный мир для $N=512$, $\alpha=2.0$ как «референс»;
- построить *семейство* графов с таким же α и увеличивающимся N :
 - $N \in \{256, 512, 1024, 2048\}$ (по возможности),
- для каждого:
 - измерить $F_exponent(N)$,
 - диапазон r , в котором фит делается (например, $r \in [\ell_min, \ell_max]$),
 - достоверность R^2 .

Метрика:

```
var_F = np.var([F_exponent(N_i) for N_i in Ns])
fitness_scaling = np.exp(-var_F /  $\sigma^2$ )
```

где σ — допустимое отклонение (например, 0.05–0.1).

Если var_F маленькая и $F_exponent$ остаётся ≈ -2 на разных N , это аргумент, что:

закон $1/r^2$ — не артефакт одного размера, а действительно **масштабно устойчивый**.

2. Проверка зависимости от радиального окна r :

- сейчас фит, вероятно, делается на каком-то фиксированном диапазоне r ;
- нужно явно варьировать окно лог-лог регрессии:
 - например, $r \in [r_min, r_max]$, с $r_min \in \{3, 5, 10\}$, $r_max \in \{N/4, N/3\}$;
- измерять, как меняются $F_exponent$ и R^2 :

```
for (r_min, r_max) in windows:
     $\beta$ , R2 = fit_powerlaw(phi_or_F, r_min, r_max)
    ...
```

- и включить **stability по окнам** в fitness:

```
var_F_windows = np.var([ $\beta\_w$  for windows])
fitness_window = np.exp(-var_F_windows /  $\sigma\_w^2$ )
```

Тогда валидный мир — тот, где **наклон стабилен** и относительно N , и относительно окна r .

2. Проверка «генерационной» структуры α_gen

В `world_search_final.pdf` в итоговой проверке:

```
WorldGenome( $\alpha=2.00$ ,  $N=512$ ,  $L=3$ , type=symmetric)
✓ VALID |  $F \sim r^{-2.02}$  |  $\alpha\_gen=2.44$  | fitness=0.624
```

- ✓ $F \sim r^{-2}$ гравитация
- ✓ $\alpha_gen = 2.44 \approx 2.04$

✓ В conserved

- $\alpha_{\text{gen}} \approx 2.44$,
- целевое значение (для «нашего мира») задано как 2.04.

Здесь два момента:

1. Откуда берётся 2.04 и что оно значит?

В SM-части кода, судя по логике, α_{gen} — это:

- показатель степенного закона для распределения **длин Ω -циклов** (периодов) или их масс:
 - $P(T) \sim T^{-\alpha_{\text{gen}}}$ или что-то близкое.

Ты задаёшь цель 2.04 по аналогии с реальными степенными спектрами (например, распределения масс/жизней частиц/резонансов), но это явно эвристика.

Чтобы валидация была «чище», нужно:

- либо чётко обосновать выбор $\text{target}=2.04$ (например, через данные по SM-частицам),
- либо сделать критерий более общим:
например, поощрять любую α_{gen} в $[1.5, 3.0]$, но с максимумом около 2.0
 $\text{fitness_alpha} = \text{np.exp}(-(\alpha_{\text{gen}} - \alpha_{\text{target}})^2 / (2 \sigma_{\alpha}^2))$

где σ_{α} достаточно большой (0.5–0.7), чтобы не превращать 2.04 в «магическое» число.

2. Проверка robustness α_{gen} :

- как и для F_{exponent} , нужно проверить:
 - зависимость α_{gen} от:
 - длины симуляции (T),
 - начальных условий (разные seeds),
 - возможных малых изменений RULESET (например, $L=4$ с редуцированием к $L=3$).

Рекомендуется:

- для найденного мира ($\alpha=2.0$, $N=512$):
 - прогнать несколько независимых симуляций (разные initial states),
 - построить распределение α_{gen} ;
 - включить дисперсию α_{gen} в OBSFitness:
 $\text{var}_{\alpha} = \text{np.var}(\alpha_{\text{gen_samples}})$
 $\text{fitness}_{\alpha\text{stab}} = \text{np.exp}(-\text{var}_{\alpha} / \sigma_{\alpha}^2)$

Это даст уверенность, что $\alpha_{\text{gen}} \approx 2.4$ — **свойство мира**, а не одной выборки.

3. Ω -уровень: спектр циклов и «SM-подобность»

В `sm_evolutionary_search.pdf` у тебя есть набор:

Обнаружено Ω -циклов: 671

Периоды: Counter({2: 37, 4: 35, 6: 33, 8: 32, 12: 32, ... 36: 3})

Сейчас в world_search_full:

- в SM-части (measure_sm_physics(genome)) учитываются:
 - сохранение «зарядов» (в частности, B),
 - некоторая синтетическая SMFitness по Ω -динамике.

Для более сильной валидации стоит:

1. Ввести канонический « Ω -каталог» для лучшего мира:

- запустить цикл:
 - из начального состояния S_0 (скажем, 1024–2048 шагов),
 - собрать все уникальные Ω -циклы:
 - длина периода T,
 - размер support,
 - энергия H_{core} , масса $m \sim H_{core}$,
 - средняя скорость v;
- кластеризовать Ω -типы по (T,m,v) в K типов.

2. Сравнить распределения:

- $P(T)$ — распределение длин циклов;
- $P(m)$ — спектр масс;
- $P(v)$ — распределение скоростей.

Валидационные тесты:

- «богатство» спектра: не только один тип (тривиальный мир);
- наличие нескольких масштабов (масс, периодов), а не одно геометрическое семейство;
- наличие «лёгких» и «тяжёлых» Ω -типов.

Можно сделать SM-fitness_ Ω :

Например, штраф за слишком узкое распределение T:

$H_T = \text{entropy}(P_T)$

$\text{fitness}_{\Omega_diversity} = \text{sigmoid}(H_T - H_{min})$

3. Ввести автоматическую реконструкцию зарядов (Q,B,L,color):

- как мы обсуждали раньше:
 - собрать InteractionEvent'ы (входящие/исходящие Ω -типы),
 - построить матрицу A (балансы по типам),
 - найти ядро A: каждое ненулевое решение — кандидат в зарядовый вектор,
 - оценить размерность ядра(A):
 - если $\dim(\text{kernel}) \geq 2$ — мир имеет минимум 2 независимых заряда \rightarrow больше похоже на SM-тип (Q,B или Q,L,...).

В OBSFitness:

```
fitness_charges = sigmoid(dim_kernel - 1)    # поощрять  $\geq 2$  независимых Q-подобных структур
```

Это существенно усилит семантику «SM-подобности», не ограничиваясь только барионным числом.

4. Связка геометрии и Ω -уровня

Сейчас world_search_full делает:

- measure_gravity(genome):
 - F_{exponent} , R^2 , fit_grav;
- measure_sm_physics(genome):
 - α_{gen} , сохранение B , возможно Q ;
- fitness_total = некоторая комбинация этих блоков.

Для серьёзной валидации стоит проверить **совместимость** геометрии и Ω -динамики:

1. Корреляция между Ω -траекториями и гравпотенциалом ϕ :

- для найденного мира:
 - запустить симуляцию с несколькими Ω -объектами (дефектами),
 - в IFACE-координатах (через спектральный embedding графа) измерить:
 - траектории объектов $x_i(t)$,
 - ускорение $a_i(t)$,
 - локальный градиент $\nabla\phi$ в точке $x_i(t)$;
 - посчитать корреляцию:
 $\text{corr} = \text{corrcoef}(a, -\text{grad_phi})$
- OBSFitness уже может учитывать «гравитационный блок» в этом духе, но важно:
 - сделать это именно на «SM-сценариях» (частицы с разными массами),
 - посмотреть, не ломается ли $F \sim 1/r^2$ на Ω -уровне (из-за взаимодействий частиц).

2. Mass-gravity consistency:

- проверить, что:
 - объекты с большей массой (H_{core}) действительно имеют:
 - большую инерцию,
 - одинаковое ускорение при падении в поле (как в free-fall эксперименте),
 - инвариантность ускорения от массы — ключевая черта «нашего» гравмасштаба.

Это можно включить в SM-часть fitness:

```
fitness_equivalence_principle = 1 - mse(a_light, a_heavy) / scale
```

5. Наблюдатель и валидация как «правильный интерфейс»

Наконец, с точки зрения Meaning_v1 / NOBS:

- твоя цель — не просто подобрать RULESET+граф, а:
 - найти **миры, которые с точки зрения наблюдателя выглядят как наш.**

Для усиления валидации:

1. Довести OBSFitness до многослойного:

- геометрия: fitness_gravity, fitness_scaling;
- Ω -структура: fitness_ Ω _diversity, fitness_charges;
- квантоподобность: fitness_quantum (сравнение частот с $|\psi|^2$);
- топология понимания: fitness_top_sem (через β_{1_sem}).

2. Проверить стабильность результатов OBS при разных начальных условиях:

- для выбранного мира ($\alpha, N, \text{RULESET}$):
 - запускать несколько симуляций с разными initial $S(0)$;
 - OBS каждый раз строит и обновляет свои оценки;
 - метрики:
 - насколько одни и те же «законы» ($F \sim 1/r^2$, α_{gen} , структура зарядов) восстанавливаются независимо от начальных состояний;
 - насколько траектория $x_{sem}(t)$ каждого запуска приводит к **одному и тому же** зонду понимания.

Валидация:

$$\text{fitness_obs_robust} = \exp(-\text{var_over_runs}(\theta) / \sigma^2)$$

где θ — вектор оценённых OBS параметров (F_{exp} , α_{gen} , кол-во зарядов и т.д.).

6. Итог

С учётом world_search_final.pdf можно сказать:

- у тебя уже есть конкретный кандидат-мир ($\alpha \approx 2$, $N=512$, $L=3$), который:
 - даёт $\sim 1/r^2$ -гравитацию с хорошей точностью;
 - имеет «правильную» генерационную структуру по Ω -циклами;
 - сохраняет по крайней мере одно барионоподобное число;
 - демонстрирует нетривиальную Ω -динамику. ([world_search_final.pdf](#))

Чтобы эта находка была **по-настоящему валидирована** как «нашеподобный мир», стоит:

1. Проверить **масштабную устойчивость** гравитации (по N и по r).
2. Уточнить критерий α_{gen} и его стабилизацию.
3. Добавить Ω -уровень проверки (спектр, мультизарядность, автоматический вывод Q, B, L).
4. Проверить mass-gravity consistency (эквивалентность инерционной и гравитационной массы).

5. Укрепить OBSFitness и посмотреть, насколько устойчивы выводимые OBS законы при разных условиях.

После этого можно будет не только сказать «мы нашли один хороший мир», но и:

Мы описали **класс миров**, для которых наблюдатель почти неизбежно видит:

- 3D-подобную геометрию с $F \sim 1/r^2$,
- богатую Ω -физику с несколькими независимыми зарядами,
- и статистику событий, согласующуюся с квантоподобной амплитудной схемой.