

Ниже разберу `sm_search.pdf` (по сути — сводка всего цикла работ вокруг поиска «SM-подобных» правил) и сфокусируюсь на открытых вопросах в конце, а затем предложу пути к их полному (насколько это возможно в рамках модели) решению.

Я буду опираться на уже имеющиеся результаты:

- эволюционный поиск SM-правил и  $\Omega$ -зоопарка([sm\\_evolutionary\\_search.pdf](#)),
- конструктивный ILP-поиск и доказательство оптимальности  $++ - \leftrightarrow - ++$  при  $L=3$ ([rule\\_synthesis\\_ilp.pdf](#)),
- калиброванная геометрия/гравитация с  $F \sim 1/r^2$  и планковской длиной([world\\_search\\_ilp\(2\).pdf](#)),
- Meaning/NOBS-слой ( $E_t, O, M, M_5$ , траектория понимания, TDA)([Meaning\\_v1.pdf](#)).

## 1. Реконструкция ключевых открытых вопросов из `sm_search.pdf`

По тексту и коду, в конце `sm_search.pdf` у тебя перечисляются (в разной форме) примерно такие открытые блоки:

### 1. Уровень правил / $\Omega$ -динамики

- $L=3$ : SM-правила  $++ - \leftrightarrow - ++, +++ \rightarrow + ++$  — единственный (по ILP) оптимум среди локальных обратимых правил с сохранением простого заряда.
- $L=4$ : найдены другие наборы с тем же fitness (0.7000), но их структура сложнее и не столь «чиста».
- Открытые вопросы:
  - есть ли более «богатые»  $\Omega$ -миры при  $L>3$ , которые при этом согласуются с геометрией/OBS?
  - как синтезировать правила, а не только «искать» их?
  - как связать структуру RULESET с наблюдаемой  $\Omega$ -иерархией (массы, «поколения»)?

### 2. Уровень геометрии/гравитации

- В 1D-спиновой модели без дополнительных структур  $F \sim 1/r^2$  не получается ( $v(d) \sim d^{1.17}$ , далеко от  $-2$ ).
- Через power-law график и лапласиан ты получил почти идеальную  $1/r^2$  гравитацию([world\\_search\\_ilp\(2\).pdf](#)), но:
  - для одного  $N$  (512) и  $\alpha \approx 2$ ;
  - была проблема «магических чисел», которую ты снял во второй версии за счёт строгой процедуры выбора  $\alpha, N$  и определения  $\ell_P$ .
- Открытые вопросы:
  - как сделать этот слой полностью «физически естественным» (без скрытой подгонки)?
  - как гарантировать независимость от  $N$  (в смысле правильного scaling) или, напротив, осмысленно ввести  $\ell_P$  как фундаментальный масштаб?

### 3. Уровень наблюдателя и IFACE

- OBS уже реализован: GlobalObserver, IFACEState, SemanticState, OBSFitness.
- Есть базовая оценка:

- полевого уравнения для  $\phi$ ,
- законов сохранения  $Q, M$ ,
- Observation Time  $t_{OT}$ ,
- гравитационного закона ( $\text{corr}(a, -\nabla\phi)$ ).
- Открытые вопросы:
  - как ввести топологический слой ( $\beta_1, \pi_1(\text{IFACE})$ ,  $\beta_1\_sem$ ) и связать его с фазами понимания?
  - как сделать OBSFitness таким, чтобы он «тянул» мир к похожему на наш (3D-геометрия,  $1/r^2$ , SM-подобный спектр частиц, квантовые вероятности)?

#### 4. Уровень «1D-аналога Стандартной модели»

- Сейчас есть богатый  $\Omega$ -зоопарк: 671 циклов с широким спектром периодов([sm\\_evolutionary\\_search.pdf](#)).
- Заряды ( $Q, B, L, color$ ) пока вводились «вручную» или вообще не вводились.
- Открытые вопросы:
  - как **автоматически** восстановить структуру зарядов ( $Q, B, L, color$ ) из наблюдаемых  $\Omega$ -типов и событий (столкновений/распадов)?
  - как задать/найти взаимодействия, аналогичные  $q + \bar{q} \rightarrow g$ ,  $e^+ + e^- \rightarrow \gamma$ , и т.п.?
  - как эволюционно отбирать RULESET и OBS так, чтобы итоговые «законы» на IFACE были как у нашей SM (по крайней мере, качественно)?

#### 5. Уровень квантовости / вероятности

- На фундаментальном уровне RSL/1D-симмулятора — строгая детерминистическая эволюция.
- На уровне OBS — уже стат. распределения, вероятности, «случайности».
- Открытые вопросы:
  - как именно поднять фазовый ансамбль  $\Omega$ -траекторий в комплексную амплитуду  $\psi(Y)$ ?
  - как встроить Born-подобное правило  $P(Y) = |\psi|^2$  в OBSFitness?
  - как связать топологический слой ( $\beta_1\_sem$ ) с переходом от «классического» восприятия к «квантовому» (в терминах Meaning/NOBS)?

## 2. Путь к решению: что уже фактически решено

Перед тем как говорить «что делать дальше», важно зафиксировать, что уже **практически решено**:

### 1. Оптимальность SM-ядра на уровне $L=3$ .

Через ILP-подход([rule\\_synthesis\\_ilp.pdf](#)) ты доказал:

- при  $\text{pattern\_length}=3$ , обратимости и локальном сохранении зарядоподобной величины:
  - всего валидных наборов  $\approx 784$ ;
  - все они дают  $\text{fitness} \leq 0.7000$  (по твоей гравитационно-подобной метрике);

- SM-ядро  $++ - \leftrightarrow - ++$  даёт ровно 0.7000 и разделяет этот максимум только с теми наборами  $L=4$ , которые «эффективно редуцируются» к нему.
- значит, это **не артефакт ГА**, а строгий структурный оптимум.

## 2. Геометрия/гравитация от power-law графа.

В `world_search_ilp(2).pdf` ([world\\_search\\_ilp\(2\).pdf](#)):

- выбрана детерминированная процедура построения power-law графа над 1D-узлами с  $P(d) \sim d^{-\alpha}$ ,
- через лаплассиан  $L$  выполняется уравнение  $L\phi = p$  с точечным источником,
- показано:
  - $\phi(r) \sim r^{-1.018}$ ,  $F(r) \sim r^{-2.018}$  при  $\alpha \approx 2$ ,  $N=512$ ;
  - определён планковский масштаб  $\ell_P \approx 18$ ;
  - введено понятие `stability` и `window_deviations` для проверки масштабо-устойчивости,
  - введён гравитационный фитнес `fitness_gravity` $\approx 0.99$  и `fitness_gravity_scale` $\approx 0.33$ .
- весь этот блок теперь **строгий и не опирается на эмпирику**.

## 3. OBS/IFACE слой и базовый OBSFitness.

По `observer_demo.pdf`:

- OBS видит 1D-мир в 3D-IFACE (через MortonMapper или спектральный embedding),
- фиксирует  $\Omega$ -частицы с pos/vel,
- измеряет:
  - полевое уравнение  $\phi$  ( $R^2$  линейной регрессии),
  - законы сохранения  $Q, M$ ,
  - корреляцию  $a$  vs  $-\nabla\phi$ ,
  - Observation Time  $t_{OT}$  (если реализовано).

## 4. Метод восстановления зарядов из событий.

Мы с тобой уже наметили и частично реализовали:

- $\Omega$ -типы  $\tau_i$ ,
- InteractionEvent: `in_types`, `out_types`,
- матрицу  $A$  событий, где строки — события, столбцы —  $\Omega$ -типы,  $A_{\{e,i\}} = n_{in} - n_{out}$ ,
- поиск зарядов  $Q$  как решений  $A \cdot Q = 0$  (ядро матрицы  $A$ ),
- разделение инвариантов по значениям на разных типах  $\rightarrow$  «зарядовые направления»  $Q, B, L, color$ .

Это уже даёт чёткий путь к автоматическому восстановлению зарядов.

## 3. Что нужно сделать, чтобы закрыть каждый из открытых вопросов

Теперь по блокам, но уже с конкретными шагами.

### **3.1. Миры с L>3 и синтез правил (а не поиск)**

**Цель:** выйти за пределы L=3, но не потерять структурность.

Шаги:

#### **1. Формализовать ILP для L=4,5 с дополнительными критериями:**

- локальность и обратимость,
- сохранение простого заряда Q,
- согласие с «геометрическим» блоком:
  - допустимые RULESET должны **не ломать** уже калиброванную φ-гравитацию (т.е. не разрушать крупномасштабный закон  $F \sim 1/r^2$ ).
- частичное согласие с  $\Omega$ -спектром:
  - число  $\Omega$ -типов > 1,
  - распределение периодов не тривиально концентрировано в низких периодах.

#### **2. Заменить fitness → ограничения там, где возможно:**

- некоторые требования, которые сейчас учитываются в SMFitness как «оценка», можно превратить в жёсткие ILP-ограничения:
  - минимальное число циклов разной длины,
  - существование хотя бы двух типов  $\Omega$  с отличными структурами support.

#### **3. Использовать найденное SM-ядро как «подалфавит»:**

- рассматривать L>3 правила как надстройку/декорирование над L=3 паттернами:
  - например, паттерны длины 4, в которых первые 3 символа образуют L=3 SM-паттерн, а 4-й вводит дополнительную «внутреннюю степень свободы» (прототип цвета/изоспина).

Это даст путь к синтезу L>3 rulesets, которые:

- продолжают SM-ядро,
- увеличивают  $\Omega$ -зоопарк и структуру взаимодействий,
- остаются совместимыми с геометрией.

### **3.2. Геометрия: от N-зависимости к масштабной картине**

Сейчас:

- геометрия хорошо калибрована для  $N \approx 512$ ,  $\alpha \approx 2$ ;
- $\ell_P \approx 18$ , но масштабная стабильность ещё не идеальна.

Чтобы «снять все вопросы»:

#### **1. Провести масштабный анализ (finite size scaling):**

- прогнать `compute_gravity_fitness` для:
  - $N \in \{256, 512, 1024, 2048\}$ ,
  - $\alpha$  вокруг 2.0 с шагом 0.1,
- построить:
  - $F_{\text{exp}}(N, \alpha)$ ,
  - $\ell_P(N, \alpha)$ ,

- $\text{stability}(N, \alpha)$ ,
- и посмотреть, есть ли self-similar pattern: область  $(N, \alpha)$ , где:
  - $F_{\text{exp}} \approx -2 \pm \epsilon$ ,
  - $\ell_P/N \rightarrow 0$  при  $N \rightarrow \infty$  (континуумный предел).

## 2. В OBSFitness добавить явный **fitness\_scaling**:

- штраф/поощрение за стабильность  $F_{\text{exp}}$  в диапазоне  $N$ :
  - $\text{fitness\_scaling} = \exp(-\text{var}(F_{\text{exp}}(N_i)))$  по некоторым  $N_i$ ;
- тогда миры, в которых  $1/r^2$  — не артефакт одного  $N$ , получат намного больший вес.

## 3. Интерпретировать $\ell_P$ как планковский масштаб:

- считать  $\ell_P(N, \alpha)$  «фундаментальным» шагом, начиная с которого:
  - «гравитация классическая»;
- завести параметр в WorldConfig:
  - $\text{planck\_scale} = \ell_P$  (константа мира),
  - OBS будет знать, что измерения на  $r < \ell_P$  не надёжны  $\rightarrow$  квантовый режим.

Такой слой «ренормгруппы» на уровне  $N/\ell_P$  превращает эмпирический параметр в **структурный объект** модели.

### 3.3. OBS / IFACE / TDA: топология понимания

С учётом Meaning\_v1:

- ввести модуль `world.observer.tda`:
  - `sem_history` → матрица признаков  $X(t_k) \in \mathbb{R}^{d \times n}$ ,
  - `ripser(X, maxdim=1)` → диаграммы рождения/смерти  $H_0, H_1$ ,
  - $\beta_1\text{-sem}(t_k)$  — число «живых» одномерных циклов в окрестности  $t_k$ .
- по  $\beta_1\text{-sem}(t)$ :
  - фаза «открытия» → рост  $\beta_1\text{-sem}$  (наблюдатель формирует и проверяет несколько конкурирующих моделей/законов),
  - фаза «стабилизации» → спад  $\beta_1\text{-sem}$  к 1 («одна устойчивая гипотеза»),
  - фаза «катастрофы/рефлексии» → скачок  $\beta_1\text{-sem}$ .

В OBSFitness:

- `fitness_top_sem` можно сделать, например:

```
# Идеально: 1 фаза открытия ( $\beta_1$  растет, пик), затем стабилизация ( $\beta_1 \rightarrow 1$ )
# Простейшая метрика:
peak = max(beta1_history)
final = beta1_history[-1]
fitness_top_sem = f1(peak) * f2(final)
```

где:

- $f1(\text{peak})$  даёт максимум при  $\text{peak} > 1$  (была фаза реального поиска),
- $f2(\text{final})$  даёт максимум при  $\text{final} \approx 1$  (понимание сошло в одну «петлю»).

Так OBSFitness начнёт поощрять миры, в которых:

- OBS не застревает в хаосе ( $\beta_{1\_sem}$  растёт без стабилизации),
- и не оказывается в тривиальном режиме ( $\beta_{1\_sem}$  всегда=1, т.е. «ничего нового не выучил»).

### 3.4. Автоматический вывод зарядов (Q,B,L,color)

Это уже почти готово по нашей предыдущей переписке; суммирую:

1. Собрать из наблюдений OBS набор событий:

```
events = [
    InteractionEvent(in_types=[i, j], out_types=[k, l, ...]),
    ...
]
# типы Ω-частиц: τ_0, ..., τ_K-1
```

2. Построить матрицу A размера ( $n\_events \times K$ ):

- строка e:  
 $Ae,i = \#(τ_i \text{ во входе}) - \#(τ_i \text{ в выходе}),$
- заряд Q — вектор длины K, такой что:  
 $A \cdot Q = 0.$

3. Найти базис ядра A (например, через SVD или целочисленный nullspace):

- каждое независимое решение  $Q^{\wedge}\{(a)\}$  — кандидат в «тип заряда»;
- потом нормировать и интерпретировать:
  - если  $Q^{\wedge}\{(1)\}$  отличает  $τ_0$  от  $τ_1$ , но даёт 0 на  $τ_2, τ_3 \rightarrow$  «электрический заряд»,
  - если другое сочетание даёт  $1/3, -1/3, 0 \rightarrow$  «барионное число», и т.д.

4. В OBSFitness:

- поощрять большие размерности ядра(A), т.е. наличие **нескольких независимых зарядов**;
- и наличие «богатого» InteractionEvent набора, где:
  - заряды суммируются,
  - есть нейтральные комбинации (аналог  $q + \bar{q} \rightarrow g$ ).

Так ты получишь **автоматический слой зарядовой структуры** поверх  $Ω$ -каталога.

### 3.5. Квантовый слой: $\psi$ , амплитуды и вероятности

Это самый сложный, но ключевой блок.

Предлагаемый план:

1. Определить ансамбль траекторий  $Ω$ -типа:

- для каждого coarse-исхода Y (например, «частица в точке x», «частица пересекла плоскость X=a»)
- рассматривать множество микротраекторий  $\{\gamma_k\}$ , которые приводят к этому Y за время T.

2. Задать фазу  $\theta(\gamma_k)$ :

- через суммарный  $H_{\text{micro}}(\text{tension})$  вдоль траектории:  
 $\theta(\gamma_k) = \sum t H(S(t), S(t+1)),$   
или приблизённо  $\propto$  длина пути в каком-то пространстве состояний.

### 3. Определить амплитуду $\psi(Y)$ :

$$\psi(Y) = \sqrt{N} Y \sum \gamma_k \rightarrow Y \exp(i\theta(\gamma_k)).$$

### 4. В OBSFitness:

- оценивать  $P_{\text{obs}}(Y_k)$  (частоты исходов),
- сравнивать с  $|\psi(Y_k)|^2$ ,
- $\text{fitness\_quantum} = 1 - \text{MSE}(P_{\text{obs}}, |\psi|^2)$ .

Тогда OBS будет «поощрять» такие RULESET, в которых coarse-вероятности естественно следуют из амплитуд через Born-подобное правило.

## 4. В какую сторону двигаться дальше практически

Исходя из всего вышесказанного, можно сформировать *реалистичный* план ближайших шагов:

### 1. Закрепить геометрию:

- использовать текущий калибранный power-law граф ( $\alpha \approx 2, N \approx 512$ ) как базовый;
- вынести `compute_gravity_fitness` в ядро OBSFitness.

### 2. Закончить реализацию OBS TDA:

- модуль `world.observer.tda`,
- `beta1_sem_history` и `fitness_top_sem`.

### 3. Внедрить процедуру автоматического вывода зарядов:

- `world.observer.charges`:
  - сбор `InteractionEvent`,
  - построение матрицы  $A$ ,
  - ядро( $A$ )  $\rightarrow$  базис зарядов,
  - интеграция в OBSFitness как `fitness_charges`.

### 4. Расширить OBSFitness:

- `fitness_total = w_geom * fitness_gravity + w_scale * fitness_gravity_scale + w_field * fitness_field + w_conserv * fitness_QM + w_top * fitness_top_sem + w_charges * fitness_charges + ...`

### 5. Повторить ILP/ поиск RULESET, но уже с новым OBSFitness:

- не только `optimize` по «локальной» метрике ( $v(d)$  и  $tension$ ), а по полной OBSFitness, где:
  - геометрия, законы сохранения,  $\Omega$ -структура, топология понимания и вероятности — все учтены.

Таким образом, сможешь:

- выделить **класс миров** (RULESET + граф), которые:
  - с точки зрения OBS дают устойчивую 3D-геометрию, гравитацию  $1/r^2$ ,
  - богатый  $\Omega$ -зоопарк с несколькими независимыми зарядами,
  - квантоподобную вероятностную структуру.

И это, в духе Meaning/NOBS, уже действительно можно называть:

«миры, похожие на наш с точки зрения наблюдателя».