

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 Ω -зоопарк([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 / Ω -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» Ω -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 Ω -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 граф 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 α, N и определения ℓ_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 ℓ_P как фундаментальный масштаб?

3. Уровень наблюдателя и IFACE

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

- полевого уравнения для ϕ ,
- 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 Ω -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 Ω -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-симулятора — строгая детерминистическая эволюция.
- На уровне OBS — уже стат. распределения, вероятности, «случайности».
- Открытые вопросы:
 - как именно поднять фазовый ансамбль Ω -траекторий в комплексную амплитуду $\psi(Y)$?
 - как встроить Born-подобное правило $P(Y) = |\psi|^2$ в OBSFitness?
 - как связать топологический слой (β_{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 ≈ 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 лапласиан L выполняется уравнение $L\phi = \rho$ 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 $\text{fitness_gravity} \approx 0.99$ и $\text{fitness_gravity_scale} \approx 0.33$.
- 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 Ω -частицы с `pos/vel`,
- измеряет:
 - полевое уравнение ϕ (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:

- Ω -типы t_i ,
- `InteractionEvent`: `in_types`, `out_types`,
- матрицу A событий, где строки — события, столбцы — Ω -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 Ω -спектром:
 - число Ω -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 Ω 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 Ω -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:
 - $N \in \{256, 512, 1024, 2048\}$,
 - α 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, α) , 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_{exp} в диапазоне N :
 - $\text{fitness_scaling} = \exp(-\text{var}(F_{\text{exp}}(N_i)))$ по нескольким N_i ;
- тогда миры, в которых $1/r^2$ — не артефакт одного N , получают намного больший вес.

3. Интерпретировать ℓ_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 -> квантовый режим.

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

3.3. OBS / IFACE / TDA: топология понимания

С учётом Meaning_v1:

- ввести модуль `world.observer.tda`:
 - $\text{sem_history} \rightarrow$ матрица признаков $X(t_k) \in \mathbb{R}^d$,
 - $\text{riper}(X, \text{maxdim}=1) \rightarrow$ 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» \rightarrow рост $\beta_1\text{-sem}$ (наблюдатель формирует и проверяет несколько конкурирующих моделей/законов),
 - фаза «стабилизации» \rightarrow спад $\beta_1\text{-sem}$ к 1 («одна устойчивая гипотеза»),
 - фаза «катастрофы/рефлексии» \rightarrow скачок $\beta_1\text{-sem}$.

В OBSFitness:

- fitness_top_sem можно сделать, например:

```
# Идеально: 1 фаза открытия ( $\beta_1$  растёт, 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 сошлось в одну «петлю»).

Так OBSFitness начнёт поощрять миры, в которых:

- OBS не застревает в хаосе (β_{1_sem} растёт без стабилизации),
- и не оказывается в тривиальном режиме (β_{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  $\Omega$ -частиц:  $\tau_0, \dots, \tau_{K-1}$ 
```

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

- строка e:
 $A_{e,i} = \#(\tau_i \text{ во входе}) - \#(\tau_i \text{ в выходе})$,
- 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 $Q^{\{a\}}$ — кандидат в «тип заряда»;
- потом нормировать и интерпретировать:
 - если $Q^{\{1\}}$ отличает τ_0 от τ_1 , но даёт 0 на $\tau_2, \tau_3 \rightarrow$ «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: ψ , 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_{micro} (tension) вдоль траектории:
 $\theta(\gamma_k) = \sum_t H(S(t), S(t+1))$,
или приближённо \propto длина пути в каком-то пространстве состояний.

3. Определить амплитуду $\psi(Y)$:

$$\psi(Y) = \frac{1}{N_Y} \sum_{\gamma_k \rightarrow Y} \exp(i\theta(\gamma_k)).$$

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 калиброванный 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 ,
 - $\text{ядро}(A) \rightarrow$ базис зарядов,
 - интеграция в OBSFitness как `fitness_charges`.

4. Расширить OBSFitness:

- $\text{fitness_total} = w_{\text{geom}} * \text{fitness_gravity} + w_{\text{scale}} * \text{fitness_gravity_scale} + w_{\text{field}} * \text{fitness_field} + w_{\text{conserv}} * \text{fitness_QM} + w_{\text{top}} * \text{fitness_top_sem} + w_{\text{charges}} * \text{fitness_charges} + \dots$

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, Ω -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 Ω -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».