

=====

=====

КОСМОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ КАК ЭМЕРДЖЕНТНЫЙ ПАРАМЕТР

=====

=====

Философско-физический очерк о природе времени в струнной космологии.

=====

=====

ПРЕДИСЛОВИЕ: Что за суета тут творится?

=====

=====

Дальнейшее словоблудие - попытка переосмыслить природу космологического времени через призму современной струнной теории. Я не претендую на математическую строгость или революционные открытия, но предлагаю взглянуть на знакомые уравнения под несколько иным углом.

Данная модель будет впихнута в игру в том или ином виде. Есть другие варианты.

Центральная идея проста: время не фундаментально. Оно возникает как проекция более глубокой геометрической структуры - движения Вселенной по траектории в абстрактном пространстве модулей Калаби-Яу. В разные космологические эпохи Вселенная "выбирает" разные внутренние часы, и то, что мы называем космологическим временем - это интеграл от всех этих локальных параметров эволюции.

Модель опирается на существующие результаты струнной космологии, но предлагает новую интерпретационную рамку. Где-то будет по "научному, где-то спекулятивен. Я постараюсь чётко разделять факты и гипотезы.

Центральная идея - время не фундаментально. Оно возникает как проекция более глубокой геометрической структуры - движения Вселенной по траектории в абстрактном пространстве модулей Калаби-Яу.

=====

=====

ЧАСТЬ I: ПРОБЛЕМА ВРЕМЕНИ

=====

=====

1.1. Квантовая гравитация: время исчезает

Начнём с самого глубокого уровня — квантовой гравитации.
Когда мы пытаемся квантовать общую теорию относительности, возникает уравнение Уилера-ДеВитта:

$$\hat{H}|\Psi\rangle = 0$$

Это уравнение описывает волновую функцию всей Вселенной.
Критическая особенность: в нём нет производной по времени.

Обычное уравнение Шрёдингера: $i\hbar \partial\Psi/\partial t = \hat{H}\Psi$ — время t явно присутствует.
В Уилере-ДеВитте его нет.

Что это означает? Волновая функция Вселенной статична. Она не эволюционирует во времени, потому что времени нет на этом фундаментальном уровне.

Но мы-то наблюдаем динамику! Вселенная расширяется, галактики формируются.
Откуда берётся эволюция, если фундаментальное уравнение статично?
Это знаменитая "проблема времени" в квантовой гравитации.

1.2. Классическая ОТО: время как координата

В классической общей теории относительности метрика для однородной изотропной Вселенной:

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t) dx^2$$

Время t явно присутствует. Оно параметризует эволюцию масштабного фактора $a(t)$.

Проблема: откуда взялось это время t ?

В ОТО оно просто постулируется как одна из координат. Координаты можно менять (принцип общей ковариантности), поэтому выбор t — дело соглашения. Нет физического механизма, выделяющего именно это t как "настоящее время".

Более того: уравнения Эйнштейна симметричны относительно обращения времени.
Ничто в классической ОТО не объясняет, почему время течёт в одном направлении.

1.3. Струнная космология: модули во времени

Струнная теория предлагает механизм возникновения четырёхмерного пространства-времени: компактификацию шести дополнительных измерений на многообразии Калаби-Яу.

Параметры формы и размера этого многообразия – модули ϕ^a – проявляются в четырёхмерной теории как скалярные поля, эволюционирующие согласно:

$$d^2\phi^a/dt^2 + 3H d\phi^a/dt + \dots = 0$$

Снова появляется время t ! Модули меняются "во времени". Но откуда оно взялось?

Оно заимствовано из четырёхмерной ОТО, которая сама не знает его происхождения.

Замкнутый круг:

- Квантовая гравитация: "времени нет"
- Классическая ОТО: "время есть, но непонятно откуда"
- Струнная теория: "используем время из ОТО"

Цель модели: разорвать этот круг, предложив механизм возникновения времени из геометрии пространства модулей.

=====
=====
ЧАСТЬ II: ПРОСТРАНСТВО МОДУЛЕЙ – ГДЕ ЖИВЁТ ВСЕЛЕННАЯ
=====
=====

2.1. Многообразии Калаби-Яу

Представьте шестимерное пространство с особой геометрией, настолько маленькое ($\sim 10^{-35}$ метра), что мы его не видим, но оно есть в каждой точке нашего трёхмерного пространства. Это многообразие Калаби-Яу – компактифицированные дополнительные измерения теории струн.

У такого многообразия есть параметры: размеры циклов, общий объём, топология. Эти параметры образуют пространство модулей M_{CY} .

Каждая точка в M_{CY} ↔ конкретная конфигурация шестимерного пространства.

Когда Вселенная эволюционирует, она движется по траектории в M_{CY} – параметры Калаби-Яу медленно меняются.

2.2. Метрика на пространстве модулей

Пространство модулей имеет собственную геометрию, описываемую метрикой Вейля-Петерссона $G_{ab}(\varphi)$.

Для кэлеровых модулей (размеры двумерных циклов) в режиме больших объёмов:

$$G_{ab} \sim K_{abc} v^c / V$$

где V — полный объём многообразия, K_{abc} — топологические константы (числа пересечения).

Эта метрика не абстракция. Она появляется в четырёхмерном эффективном действии:

$$L_{kin} = -(1/2) G_{ab}(\varphi) \partial_\mu \varphi^a \partial^\mu \varphi^b$$

2.3. Аффинный параметр: естественная мера пути

В римановой геометрии есть естественный способ измерить длину пути:

$$d\lambda^2 = G_{ab}(\varphi) d\varphi^a d\varphi^b$$

Величина λ называется аффинным параметром. Она показывает расстояние, пройденное Вселенной в пространстве модулей.

Ключевой тезис: λ более фундаментален, чем космологическое время t .
Время t возникает как производная величина от λ .

ЧАСТЬ III: ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ПОТОК И РОЖДЕНИЕ ВРЕМЕНИ

3.1. Режим кинетического доминирования

Рассмотрим эпоху kination (кинетического доминирования) в ранней Вселенной:

- Инфляция закончилась
- Потенциал модулей $U(\varphi)$ пренебрежимо мал

- Кинетическая энергия модулей доминирует

Уравнение движения упрощается при $U = 0$:

$$D\varphi^a/dt + 3H \varphi^a = 0$$

где D/dt — ковариантная производная в M_{CY} , $H = \dot{a}/a$ — параметр Хаббла.

Движение в искривлённом пространстве с трением от расширения Вселенной.

3.2. Строгий вывод: $dt = a^3 d\lambda$

Это наиболее важный математический результат модели.

ШАГ 1: Определим квадрат "скорости" в пространстве модулей:

$$\varphi^2 \equiv G_{ab} \varphi^a \varphi^b$$

Из определения аффинного параметра:

$$(d\lambda/dt)^2 = \varphi^2$$

ШАГ 2: Умножим уравнение движения на $G_{ac} \varphi^c$:

$$G_{ac} \varphi^c (D\varphi^a/dt) + 3H G_{ac} \varphi^a \varphi^c = 0$$

Второй член: $3H \varphi^2$

ШАГ 3: Используя геометрическое тождество:

$$d(\varphi^2)/dt = 2 G_{ab} \varphi^b (D\varphi^a/dt)$$

получаем:

$$(1/2) d(\varphi^2)/dt + 3H \varphi^2 = 0$$

ШАГ 4: Подставим $H = \dot{a}/a$:

$$d(\varphi^2)/dt = -6(\dot{a}/a) \varphi^2$$

ШАГ 5: Перепишем и проинтегрируем:

$$d \ln(\varphi^2) = -6 d \ln(a)$$

$$\ln(\varphi^2) = -6 \ln(a) + \text{const}$$

ШАГ 6: Потенцируем:

$$\varphi^2 = C \cdot a^{-6}$$

ШАГ 7: Вспоминаем $\lambda^2 = \varphi^2$:

$$(d\lambda/dt)^2 = C \cdot a^{-6}$$

$$d\lambda/dt = \sqrt{C} \cdot a^{-3}$$

ШАГ 8: Обращаем и нормируем ($\sqrt{C} = 1$):

$$dt = a^3 d\lambda$$

Это строго доказанный результат для режима kination ($U = 0$).

3.3. Физический смысл

Формула $dt = a^3 d\lambda$ означает:

λ — "истинное время" Вселенной, внутренний параметр эволюции из геометрии M_{CY} .

t — то, что мы измеряем обычными часами в четырёхмерном мире.

Связь опосредована масштабным фактором:

$$dt/d\lambda = a^3$$

Чем больше раздулась Вселенная, тем медленнее течёт космологическое время относительно фундаментального параметра λ .

Пример:

- Ранняя Вселенная ($a \sim 10^{-30}$): $dt \sim 10^{-90} d\lambda$

- Сегодня ($a \sim 1$): $dt \sim d\lambda$

Разница в 10^{90} раз! В ранней Вселенной "истинное время" λ текло гораздо быстрее относительно наблюдаемого t .

3.4. Геометрическая интерпретация стрелы времени

Направление возрастания λ определяется направлением движения по геодезической

в M_{CY} , фиксированным начальными условиями.

Фактор a^3 всегда положителен:

- Если λ растёт $\rightarrow t$ тоже растёт

- Направления согласованы

Обратное направление (сжатие, $a \rightarrow 0$) приводит к $dt \rightarrow 0$ — остановке наблюдаемого времени. Вселенная "не может" двигаться в этом направлении.

=====
=====
ЧАСТЬ IV: МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ЧАСОВ
=====
=====

4.1. Ограничения строгого вывода

Соотношение $dt = a^3 d\lambda$ строго выведено ТОЛЬКО для режима kination ($U = 0$).

Космологическая история включает другие эпохи:

- Инфляция (доминирует потенциал инфлатона)
- Radiation (доминирует излучение)
- Matter (доминирует материя)
- Dark Energy (доминирует вакуум)

В этих эпохах динамика иная, и простое $dt \propto a^3 d\lambda$ может не работать.

Вопрос: можно ли обобщить идею эмерджентного времени на все эпохи?

4.2. Принцип выбора "внутренних часов"

Гипотеза (не строго доказана):

В каждую космологическую эпоху существует естественный параметр эволюции X ,
меняющийся быстрее всего. Он играет роль "внутренних часов".

Космологическое время — интеграл от локальных параметров:

$$t = \int F(\text{эпоха, параметры}) dX$$

где F — конформный фактор, зависящий от режима.

4.3. Эпоха инфляции: ϕ_{inflaton} как часы

РЕЖИМ:

- Потенциал $V(\phi_{\text{inf}})$ доминирует над кинетической энергией
- Модули Калаби-Яу стабилизированы (почти не движутся)
- Инфлатон медленно скатывается

УРАВНЕНИЕ (slow-roll):

$$3H \dot{\phi}_{\text{inf}} \approx -\partial V / \partial \phi_{\text{inf}}$$

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПАРАМЕТР: ϕ_{inflaton}

Почему? ϕ_{inf} меняется быстрее всего. Модули заморожены ($d\phi_{\text{moduli}}/d\lambda \approx 0$).

СВЯЗЬ С ВРЕМЕНЕМ:

$$dt \sim (1/H_{\text{inf}}) d\phi_{\text{inf}}$$

где $H_{\text{inf}}^2 \sim V / (3M_{\text{p}}^2)$.

В этом режиме λ почти не меняется $\rightarrow \phi_{\text{inf}}$ лучший выбор "часов".

4.4. Эпоха kination: λ как часы

РЕЖИМ:

- Инфлатон достиг минимума
- Модули быстро движутся
- Кинетическая энергия $\dot{\phi}^2$ доминирует

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПАРАМЕТР: λ

СВЯЗЬ: $dt = a^3 d\lambda$ (строго выведено)

4.5. Эпоха radiation/matter: a или T как часы

РЕЖИМ:

- Модули стабилизировались
- Доминирует излучение или материя
- $d\phi/dt \approx 0$

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ПАРАМЕТР: a (масштабный фактор) или T (температура)

Модули неподвижны ($d\lambda/dt \approx 0$), зато Вселенная расширяется.

СВЯЗЬ:

$$dt \sim (1/H) da$$

где H зависит от уравнения состояния:

- Излучение: $H^2 \sim T^4 / M_{\text{p}}^2$

- Материя: $H^2 \sim a^{-3}/M_p^2$

4.6. Фазовые переходы как смена часов

Самое интересное происходит на границах эпох – при фазовых переходах.

ПЕРЕХОД: Инфляция → Kination

1. Инфлатон достигает минимума: $\dot{\phi}_{inf} \rightarrow 0$
2. Его потенциальная энергия → кинетическая энергия модулей
3. Модули начинают быстро двигаться: $\dot{\phi}_{moduli}$ резко растёт

Смена часов:

БЫЛО: $X = \phi_{inflaton}, dt \sim (1/H) d\phi_{inf}$
СТАЛО: $X = \lambda, dt = a^3 d\lambda$

Это не просто замена переменных! Это смена физической природы времени. До перехода время "текло" через эволюцию инфлатона. После – через движение в пространстве модулей.

ПЕРЕХОД: Kination → Radiation

1. Модули приближаются к минимумам потенциала
2. Движение замедляется: $\dot{\phi} \rightarrow 0$
3. Кинетическая энергия < плотность излучения

Смена часов:

БЫЛО: $X = \lambda, dt = a^3 d\lambda$
СТАЛО: $X = a, dt \sim (1/H) da$

Снова смена природы времени.

=====
=====
ЧАСТЬ V: ВРЕМЯ КАК СТОХАСТИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА
=====
=====

5.1. Квантовые флуктуации времени

В квантовой гравитации метрика пространства-времени флуктуирует:

$$g_{\mu\nu} = \langle g_{\mu\nu} \rangle + \delta g_{\mu\nu} \text{ (квантовый шум)}$$

Компонента g_{00} определяет течение времени. Если она флуктуирует — время "дышит".

В нашей картине модули квантуются:

$$\varphi^a = \langle \varphi^a \rangle + \delta\varphi^a$$

Поскольку dt зависит от φ^a , время становится квантовым оператором с флуктуациями.

Формально:

$$dt = \langle dt \rangle + \Sigma_a (\partial dt / \partial \varphi^a) \delta\varphi^a$$

Проблема: для лёгких модулей ($m \sim 10^{-3}$ эВ) эффект планковский:

$$\delta t / t \sim (10^{-3} \text{ эВ} / 10^{19} \text{ ГэВ})^2 \sim 10^{-46}$$

Практически ненаблюдаемо. Нужны либо тяжёлые модули (ТэВ-масштаб), либо нелинейные резонансы, либо когерентное усиление от многих модулей.

5.2. Возможные проявления

Несмотря на малость эффекта, есть три области, где можно искать следы:

1. СТОХАСТИЧНОСТЬ $w(z)$

Вместо гладкой функции $w(z) = w_{\text{smooth}}(z) + \delta w(z)$, случайное семя). При многократных измерениях разных участков неба — разные значения w . Euclid будет измерять $w(z)$ в разных направлениях. Если космическая дисперсия $\sigma(w) > \sigma_{\text{statistical}} \rightarrow$ возможный сигнал.

2. НЕГАУССОВОСТЬ СМВ

Флуктуации времени в эпоху рекомбинации создают дополнительные анизотропии.

Специфический паттерн в высших корреляциях (f_{NL}).

3. ВАРИАЦИЯ КОНСТАНТ

$$\alpha(x, t) = \alpha_0 \cdot [1 + (\partial \ln \alpha / \partial \varphi) \delta\varphi(x, t)]$$

Усреднение даёт α_0 , но дисперсия между измерениями:

$$\text{Var}(\alpha) = (\partial \alpha / \partial \varphi)^2 \cdot \text{Var}(\delta\varphi)$$

Пока не найдено, но чувствительность растёт.

=====
=====
ЧАСТЬ VI: ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ
=====
=====

6.1. Стандартная проблема

Наблюдения показывают ускоренное расширение. В Λ CDM это космологическая постоянная Λ – энергия вакуума.

Проблема: $\rho_\Lambda \sim (10^{-3} \text{ эВ})^4$ на 123 порядка меньше планковской плотности. Почему энергия вакуума настолько мала?

6.2. Интерпретация через модули

Вселенная движется по геодезической в M_{SU} . Траектория приближается к минимуму потенциала $U(\phi)$. Поле почти останавливается ($\dot{\phi} \rightarrow$ малое), но не полностью. Остаточный потенциал U_0 – наблюдаемая тёмная энергия.

Параметр уравнения состояния:

$$w = p/\rho = [(1/2)\dot{\phi}^2 - U_0] / [(1/2)\dot{\phi}^2 + U_0]$$

Если $\dot{\phi}^2 \ll U_0$:

$$w \approx -1 + \dot{\phi}^2/U_0 \equiv -1 + \delta$$

6.3. Проблема с предсказаниями

Можно попытаться вывести эволюцию $w(z)$, предположив, что $\dot{\phi}^2 \propto a^{-6}$ сохраняется вблизи минимума. Тогда:

$$w(z) \approx -1 + \delta_0(1+z)^6$$

Но это грубая аппроксимация. Вблизи минимума динамика описывается уравнением осциллятора с трением:

$$\ddot{\phi} + 3H \dot{\phi} + m^2\phi = 0$$

Решение: $\phi^2 \sim a^{-3}$ · затухающие осцилляции, НЕ $\phi^2 \sim a^{-6}$.

Данные DESI (2024): $w_0 = -0.827 \pm 0.063$

Если интерпретировать через $\delta_0 = 0.173$, получаем $\phi_0^2/U_0 \sim 34\%$ — слишком большое значение. Возникают противоречия с вариацией G и принципом эквивалентности.

Вывод: простая формула не работает без точного численного расчёта для конкретного потенциала и начальных условий.

6.4. Что остаётся

Модель даёт качественное понимание: связь модулей с тёмной энергией, идею эмерджентного времени. Но конкретные предсказания для $w(z)$ требуют:

- Решить полные уравнения для реального потенциала $U(\phi)$
- Численно проинтегрировать с начальными условиями
- Сравнить с данными Euclid, Roman, CMB-S4

Возможно, появятся проверяемые следствия. Пока рано говорить.

=====
=====
ЧАСТЬ VII: ФИЛОСОФСКИЕ СЛЕДСТВИЯ
=====
=====

7.1. Природа времени

Старая картина: время — фундаментальная арена. Сначала есть время, потом в нём происходит динамика.

Новая картина: время возникает из более глубокой структуры — движения в пространстве модулей. Сначала есть геометрия и траектория, потом появляется то, что мы называем временем.

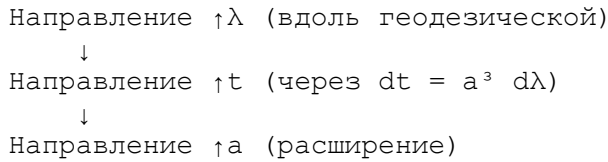
Иерархия реальности:

1. λ — геодезическая длина (внутренний параметр)
2. t — космологическое время (проекция λ на четырёхмерный мир)
3. Множественность: разные "часы" в разные эпохи
4. Относительность темпа: $dt/d\lambda$ зависит от a
5. Квантование: время как оператор с флуктуациями

Время не "атомизировано" на планковские тики, но становится квантовой наблюдаемой со свойствами оператора.

7.2. Стрела времени

Стрела времени – геометрическое явление:



Все согласованы. "Обратное время" означало бы движение назад по геодезической, что противоречит начальным условиям.

7.3. Связь с квантовой гравитацией

Уравнение Уилера-ДеВитта: $\hat{H}|\Psi\rangle = 0$ (времени нет)

Наша схема согласуется с реляционной концепцией времени:

1. Фундаментально времени нет (WDW)
2. Выбираем λ как "внутренние часы"
3. Условная волновая функция $\Psi[g, \phi | \lambda]$
4. Эволюция по λ с эффективным гамильтонианом
5. Классический предел: $dt = a^3 d\lambda$

Возможный мост между квантовой гравитацией и наблюдаемой космологией.

=====
=====
ЧАСТЬ VIII: СТАТУС РАБОТЫ
=====
=====

8.1. Что строго доказано

СТРОГО ДОКАЗАНО:

В режиме kination ($U = 0$): $dt = a^3 d\lambda$
Математика вывода корректна.
Аффинный параметр λ хорошо определён.

ПРАВДОПОДОБНЫЕ ГИПОТЕЗЫ:

Применимость к другим эпохам (требует проверки).
Смена "часов" между режимами.
Стохастичность времени от квантовых флуктуаций.

СПЕКУЛЯТИВНЫЕ/ПРОБЛЕМАТИЧНЫЕ:

Формула $w(z) \approx -1 + \delta_0(1+z)^6$ (только очень локальная аппроксимация).
Интерпретация данных DESI (противоречия).
Конкретные предсказания без численных расчётов.

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ:

Явный вывод для $U \neq 0$.
Численное моделирование на конкретных многообразиях.
Механизм декогеренции (WDW \rightarrow классика).
Проверка наблюдениями.

8.2. Что это даёт vs стандартный подход

Честный вопрос: не просто ли это переименование переменных?

Вместо "t фундаментально" \rightarrow " λ фундаментально, $t = a^3 \lambda$ "

Математически может быть эквивалентно.

Ответ: переформулировки бывают продуктивны. Сравните:

- Ньютон: $F = ma$
- Лагранж: $\delta S = 0$

Второе открыло путь к квантовой механике. Предложенная схема либо продуктивная переформулировка, либо красивая, но бесплодная идея.

8.3. Чего не хватает для полноты

1. КОНКРЕТНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Взять реальное многообразие (quintic в \mathbb{R}^4).
Построить LVS-компактификацию.
Численно проинтегрировать уравнения.
Проверить точность $dt \propto a^3 d\lambda$.

2. ОБОБЩЕНИЕ НА $U \neq 0$

Вывести формулу для $dt/d\lambda$ в slow-roll.
Найти условия применимости.

3. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

Эффективный гамильтониан для эволюции по λ .
Механизм декогеренции.
Связь с канонической квантовой гравитацией.

4. СТОХАСТИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

Построить стохастическое уравнение.
Решить численно.
Вычислить наблюдаемые (дисперсия w , негауссовость).

5. НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

Euclid, Roman, SMV-S4.
Проверка $w(z)$.
 f_{NL} (негауссовость).
Вариация α .

=====
=====
ЧАСТЬ IX: ФАЛЬСИФИЦИРУЕМОСТЬ
=====
=====

9.1. Резюме трёх уровней

УРОВЕНЬ 1: СТРОГАЯ МАТЕМАТИКА

Режим kination, $U = 0$: $dt = a^3 d\lambda$
Это математический факт, строго выведенный.

УРОВЕНЬ 2: РАЗУМНЫЕ ОБОБЩЕНИЯ

Множественность часов в разные эпохи.
Смена параметра X на фазовых переходах.
Геометрическая интерпретация стрелы времени.
Квантовые флуктуации \rightarrow стохастичность времени.

Статус: правдоподобно, требует проверки.

УРОВЕНЬ 3: СПЕКУЛЯТИВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Точная формула $w(z)$ для тёмной энергии.
Сравнение с DESI без численных расчётов.
Конкретные числовые предсказания.

Статус: либо неверно, либо требует доработки.

9.2. Проверяемые предсказания

Если подход верен, должны наблюдаться:

СТРОГИЕ ПРЕДСКАЗАНИЯ:

1. Равенство скоростей гравитационных волн: $c_T = c$
(Требуется дополнительного аксиона для совместимости)
2. Эволюция $w(z)$ с отклонением от $w = -1$
(Но не конкретная формула без расчётов)

ВЕРОЯТНЫЕ СИГНАЛЫ:

3. Космическая дисперсия w : $\sigma(w) > \sigma_{\text{statistical}}$ между участками неба
4. Негауссовость СМВ: специфический паттерн f_{NL} от модулей
5. Вариация α : на границе текущих ограничений
 $\delta\alpha/\alpha \sim (\partial \ln \alpha / \partial \phi) \cdot (\phi/H) \sim 10^{-16} \text{ год}^{-1}$

Если ничего не найдено (после Euclid, Roman, CMB-S4):

- Либо эффекты слишком малы
- Либо модель неверна/неполна

=====
=====

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

=====
=====

Центральная идея:

Космологическое время – не фундаментальная характеристика. Оно возникает как проекция десятимерной динамики на четырёхмерное пространство-время.

Иерархия:

- Квантовая Вселенная (нет времени)
 - ↓ [декогеренция]
- Классическая траектория в M_{CY}
 - ↓ [выбор "внутренних часов"]
- Естественный параметр X ($\phi_{\text{inf}}, \lambda, a, \dots$)
 - ↓ [конформная перенормировка]
- Космологическое время $t = \int F(\text{эпоха}) dX$
 - ↓ [квантовые флуктуации]
- Стохастическое время с "шумом"

Строгий результат:

Для режима kination ($U = 0$): $dt = a^3 d\lambda$

Математически строго.

Обобщения:

Множественность часов в разные эпохи.
Смена природы времени на фазовых переходах.
Квантовые флуктуации → стохастичность.
Геометрическая стрела времени.

Правдоподобно, требует проверки.

Проблемы:

Формула $w(z)$ для тёмной энергии не прошла проверку DESI.
Эффекты квантовых флуктуаций слишком малы при низких энергиях.
Много необоснованных допущений в применениях.

Фальсифицируемость:

Если верно:

- Эволюция $w(z)$ (Euclid, Roman)
- Космическая дисперсия w (Euclid)
- Негауссовость CMB (CMB-S4)
- Вариация α (новые атомные часы)

Если ничего нет:

→ Модель неверна или эффекты ненаблюдаемы

Статус работы:

Это интерпретационная схема, не новая теория.

Что даёт:

- Новый взгляд на существующую математику
- Концептуальную рамку
- Проверяемые идеи (частично)

Чего не даёт:

- Точных предсказаний (без численной работы)
- Решения всех проблем
- Революции в физике

Личное послесловие:

Я не знаю, "истинна" ли эта картина. Возможно, просто красивая переформулировка.

Если это вдохновит кого-то думать о времени по-новому – уже успех, даже если конкретные предсказания неверны.

Не претендую на открытие, но хочу поделиться взглядом на природу времени, который мне кажется красивым — даже если окажется просто переформулировкой известного.

=====

=====

ПРИЛОЖЕНИЕ: ТЕХНИЧЕСКАЯ СПРАВКА

=====

=====

Основные обозначения:

- t — космологическое время (наблюдаемое)
- λ — аффинный параметр (геодезическая длина в M_{CY})
- ϕ^a — модули Калаби-Яу (поля)
- $a(t)$ — масштабный фактор
- $H = \dot{a}/a$ — параметр Хаббла
- $G_{ab}(\phi)$ — метрика Вейля-Петерссона на M_{CY}
- $U(\phi)$ — потенциал модулей
- $w = p/\rho$ — параметр уравнения состояния

Ключевые уравнения:

Определение λ :

$$d\lambda^2 = G_{ab}(\phi) d\phi^a d\phi^b$$

Связь с временем (kination):

$$dt = a^3 d\lambda$$

Уравнение движения модулей:

$$D\phi^a/dt + 3H \phi^a + \partial U/\partial \phi^a = 0$$

Стохастическое обобщение:

$$d\lambda = f(a, \phi) dt + \sigma(a, \phi) dW_t$$

Проверяемые предсказания:

1. $w(z)$ отклоняется от -1 (качественно)
2. $c_T = c$ для гравитационных волн (требует аксион)
3. Космическая дисперсия $\sigma(w) > \sigma_{stat}$
4. Негауссовость $f_{NL} \sim O(1)$
5. Вариация α : $\delta\alpha/\alpha \sim 10^{-16} \text{ год}^{-1}$

Числовые масштабы:

- $M_{Pl} \sim 10^{19}$ ГэВ (планковская масса)
- $m_{moduli} \sim 10^{-3}$ эВ (типичная масса модуля)
- $H_0 \sim 10^{-42}$ ГэВ (современный Хаббл)

$\rho_\Lambda \sim 10^{-47} \text{ ГэВ}^4$ (тёмная энергия)

$dt/d\lambda = a^3$:

Ранняя Вселенная ($a \sim 10^{-30}$): 10^{-90}

Сегодня ($a \sim 1$): 1

Квантовые флуктуации:

$\delta t/t \sim (10^{-3} \text{ эВ} / 10^{19} \text{ ГэВ})^2 \sim 10^{-46}$ (это в триллион триллион... раз меньше любого измеримого эффекта)