

УДК 530.12:531.51

## ГИПОТЕЗА ФРИДМОНОВ КАК ЧАСТИЦ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ И ГИПОТЕЗА РАСПАДА НАЧАЛЬНОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ

Р. Ф. Полищук

*На роль частиц тёмной материи предложена гипотеза фридмонов как стабильных частиц с массой, на 9 порядков большей массы нуклона. Частицы отвечают ещё не открытой точной группе симметрии, дуальной группе  $SU(2)$ : для симметрий Стандартной модели и дуальных симметрий роли точных и нарушенных симметрий, а также соответствующих стабильных и нестабильных частиц, меняются местами. Также предложена гипотеза распада начального вакуума де Ситтера планковской плотности до асимптотического состояния расширяющейся Вселенной с вакуумом де Ситтера наблюдаемой критической плотности. Предложены гипотезы  $T$ -дуальности и  $S$ -дуальности, связывающие подгруппы  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  и им дуальные подгруппы  $S\tilde{U}(3) \times S\tilde{U}(2) \times \tilde{U}(1)$  с распадом группы начальной симметрии  $E(8) \times \tilde{E}(8)$ . В частности, указанные дуальности связывают минимальную планковскую длину  $10^{-33}$  ст с начальным радиусом кривизны Метагалактики  $10^{-13}$  ст планковской плотности и с современным радиусом её кривизны  $10^{28}$  ст. То есть указана возможная связь планковской массы с массой Метагалактики в  $10^{61}$  планковских масс.*

**Ключевые слова:** дуальные симметрии, фридмоны, тёмная материя, распад вакуума.

Наблюдательная космология открыла расширение Вселенной (Хаббл, 1929), теоретически предсказанное А. А. Фридманом (1922). Уравнение состояния физического

вакуума  $p = -\rho$  (давление равно минус плотности вакуума) показывает, что отрицательное давление вызывает ускоренное разбегание пробных частиц. Галактики – не пробные частицы, но они возникли в результате Большого Взрыва 13.7 миллиардов лет тому назад. Полная масса Метагалактики  $10^{56}$  грамма: это порядка 11 миллиардов галактик по 11 миллиардов звёзд средней массой  $10^{33}$  грамма. Эта масса соответствовала трёхмерной сфере де Ситтера (расширяющийся однополостный гиперboloид, мысленно вложенный в 5-мерный плоский мир Минковского с сигнатурой  $(++++)$  пространства-времени), первоначально сжатой до предельной планковской плотности  $\rho_{pl} = 5 \cdot 10^{93}$  грамма в кубическом сантиметре. Радиус кривизны  $a$  3-сферы де Ситтера связан с массой Метагалактики формулой  $M = 2\pi^2 a^3 \rho_{pl}$ , где  $a = 10^{-13}$  сантиметра. Распад первичного единого физического взаимодействия на сильное, электрослабое и гравитационное вызвал ослабление гравитации на 41 порядок. Радиус кривизны современной Метагалактики вырос до величины примерно  $10^{28}$  см, а плотность упала, соответственно, на 123 порядка до критического значения примерно  $\rho_{cr} = 10^{-29}$  г·см $^{-3}$ .

Стандартная модель частиц за исключением гравитонов связана с симметриями группы  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  как результатом распада на указанные подгруппы исходной группы Ли  $SU(5)$ ,  $SO(32)$ ,  $E_6$  или  $E(8) \times E(8)$ . При этом симметрии подгрупп  $SU(3)$  и  $U(1)$  точные, а симметрия подгруппы  $SU(2)$  – нарушенная. Соответственно, возникают стабильные нуклоны (протоны и нейтроны), образованные связанными глюонами тройками кварков, стабильные фотоны и нестабильные  $W^\pm$ ,  $Z^0$  бозоны, отвечающие группе  $SU(2)$ . Здесь мы предполагаем считать группой великого объединения взаимодействий исключительную группу Ли  $E(8) \times \tilde{E}(8)$ , распадающуюся на указанные подгруппы Стандартной модели и на дуальные им подгруппы  $\tilde{S}U(3) \times \tilde{S}U(2) \times \tilde{U}(1)$ .

То есть мы предполагаем, что существует ещё не открытая новая, дуальная симметрия. Переход к дуальным симметриям аналогичен взаимной замене электрического и магнитного полей для электромагнитного тензора, дуального исходному тензору как внешнему дифференциалу вектор-потенциала, то есть в данном случае – его ротору. В общем случае несимметричной связности и полей Янга–Миллса (ниже  $g$  – константа взаимодействия, в случае электромагнетизма  $g = e$ , где  $e$  – электрический заряд) имеем:

$$F = dA = (\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + g[A_\mu, A_\nu]) dx^\mu \wedge dx^\nu. \quad (1)$$

В дуальной электродинамике электромагнитный тензор есть внешний дифференциал дуального вектор-потенциала  $\tilde{A}_\mu dx^\mu$ , и вместо нестабильных дуальных электрических зарядов существуют только нестабильные дуальные магнитные заряды: ведь внешний

дифференциал  $d$  и внешний кодифференциал  $\delta = *^{-1}*$  суть нильпотентные операторы с нулевым квадратом ( $dd = 0$ ,  $\delta\delta = *^{-1}dd* = 0$ ). (Здесь звезда  $*$  есть оператор Ходжа, переводящий  $p$ -форму (тензор с  $p$  нижними антисимметричными индексами) на многообразии размерности  $n$  в форму степени  $n-p$ . При этом дифференциал не зависит от метрики, а кодифференциал (ковариантная дивергенция по первому индексу формы с минусом) от неё зависит через квадратный корень от определителя матрицы метрического тензора  $\sqrt{-g}$ . Например, объём мира событий равен

$$\int *1 = \int d^4x \sqrt{-g} = \int \sqrt{-g} dx^0 \wedge dx^1 \wedge dx^2 \wedge dx^3, \quad (2)$$

где 1, как постоянная функция, есть нуль-форма. Внешний дифференциал (частная производная тензора по координате с дальнейшим альтернированием) увеличивает степень формы на единицу, а кодифференциал её на единицу уменьшает. Их сопряжённость проявляется в том, что для определения скалярного произведения форм одной степени  $(\alpha, \gamma) = \int \alpha \wedge *\gamma$  (произведение двух форм разной степени равно нулю, тривиально) на многообразии с пустой границей имеем  $(\alpha, d\beta) = (\delta\alpha, \beta)$ .

При распаде исходной группы на подгруппы точные и неточные симметрии меняются местами, и соответственно изменяется стабильность отвечающих симметриям элементарных частиц. Тогда стабильными будут только частицы для группы  $S\tilde{U}(2)$ , дуальной группе  $SU(2)$ . Назовём отвечающие подгруппе симметрии  $S\tilde{U}(2)$  гипотетические частицы *фридмонами*. Частицы, отвечающие остальным двум подгруппам, считаем распавшимися и отсутствующими в современной Вселенной. Считаем, что распавшиеся нестабильные дуальные нуклоны и фотоны дали свой вклад в массу-энергию вакуума де Ситтера, к которому стремится состояние наблюдаемой расширяющейся Вселенной. Полная масса-энергия обычных и дуальных частиц может быть разной.

Для оценки массы фридмона рассмотрим таковую для нуклона. Масса нуклона на 19 порядков меньше планковской массы, и, соответственно, его размер на 19 порядков больше планковской длины. Чтобы из плотно упакованных нуклонов получить звезду с массой, близкой к массе чёрной дыры (ведь планкеон – как бы сам себе чёрная дыра, не коллапсирующий в точечную сингулярность просто потому, что уже имеет предельно допустимую, планковскую плотность  $5 \cdot 10^{93}$  г/см<sup>3</sup>), нужно в трёхмерном пространстве взять  $10$  в степени  $57$  нуклонов с массой  $10^{-24}$  г, что даёт примерную массу звезды типа солнечной массы  $10^{57} \cdot 10^{-24} \text{ г} = 10^{33} \text{ г}$ .

Гравитационный радиус звезды порядка  $10^5$  см связан с размером нуклонов  $10^{-14}$  см, вносящих основной вклад в типичную звёздную массу порядка солнеч-

ной, и с планковской длиной как размером планкеона около  $10^{-33}$  см, соотношением  $10^5 \text{ см} \cdot 10^{-33} \text{ см} = (10^{-14} \text{ см})^2$ .

Будем считать, что существует дуальная тёмная материя примерно в том же количестве, что и видимая, то есть в количестве примерно  $2 \cdot 10^{56}$  г. В момент Большого Взрыва она могла иметь предельную планковскую плотность  $\rho_{pl}$  и образовывать 3-сферу де Ситтера радиуса кривизны  $a$  с объёмом  $2\pi^2 a^3$  и с массой  $2\pi^2 a^3 \rho_{pl} = 2 \cdot 10^{56}$  г. Отсюда получаем  $a = 1.6 \cdot 10^{-13}$  см. Кстати, поскольку 3-сфера не имеет границы, полная масса-энергия мира равна нулю, и масса-энергия материи полностью компенсируется отрицательной потенциальной гравитационной энергией. При этом сохраняются обе компенсирующие друг друга компоненты. Заметим, что для островной системы в асимптотически плоском на бесконечности пространстве масса-энергия свободного гравитационного поля компенсирует только половину массы-энергии вещества, так что полная масса-энергия системы положительна [1, 2].

Тёмная материя по порядку величины имеет примерно ту же полную массу, что и видимая материя. Её образуют, как предполагаем, одинаковые частицы, отвечающие группе симметрии, дуальной группе  $SU(2)$ , т.е. предполагаемые фридмоны. Частицы, отвечающие остальным дуальным группам, нестабильны и распадаются, давая в конечном счёте вклад также в тёмную энергию. В момент Большого Взрыва Метагалактика могла напоминать своего рода “первоатом Леметра” с указанным выше радиусом кривизны, близким к размеру атомного ядра, и с планковской плотностью материи вакуума. Предположим, что фридмоны тёмной материи связаны с планковской длиной примерно так, как и образующие звёзды нуклоны видимой материи:  $1.6 \cdot 10^{-13} \text{ см} \cdot 1.6 \cdot 10^{-33} \text{ см} = (1.6 \cdot 10^{-23} \text{ см})^2$ . Таким образом, размер фридмона  $1.6 \cdot 10^{-23}$  см (так что фридмоны ведут себя почти как точечные частицы среди нуклонов), а масса примерно на 9 порядков больше массы нуклона, равной, как известно,  $1.67 \cdot 10^{-24}$  г, то есть равна примерно  $10^{-15}$  г. Напомним, что теория частиц нуждается в стабильных частицах с массой порядка  $10^{-15}$  г.

Поскольку фридмоны относятся к группе симметрии, дуальной стандартной группе, они только гравитационно взаимодействуют с частицами Стандартной модели. Поэтому и по причине малых размеров они годятся на роль частиц тёмной материи, напоминающей холодную пыль (в отличие от тёмной энергии с уравнением состояния  $p = -\rho$ ).

Теперь рассмотрим гипотезу распада начального вакуума и изменения космологической постоянной. В начальный момент Вселенная могла иметь состояние атома Ле-

метра с топологией 3-сферы и с планковской плотностью. В этом квантовом состоянии мира флуктуации метрики были сравнимы с самой метрикой, так что метрика была однородной и изотропной метрикой вакуума с уравнением состояния материи вакуума  $p = -\rho$  (ведь квантовая механика исключает абсолютную геометрическую пустоту). Если плотность отрицательна, то отрицательна и космологическая постоянная, определяющая тензор энергии-импульса вакуума. Постоянство космологического лямбда-члена следует из свёрнутых тождеств Бьянки для уравнений Эйнштейна с этим членом (не исключено, что в квантовой гравитации лагранжиан содержит дополнительные члены с тензором Римана, вклад которых в уравнения поля мал на макроскопическом уровне). Тогда мир событий был бы однополостным гиперboloидом с замкнутыми линиями времени в его ортогональных оси симметрии сечениях. Но в фейнмановском интеграле по путям линии времени противоположных ориентаций компенсировали бы друг друга, и такой мир не мог бы родиться и расширяться в пространстве, эволюционировать.

При положительной плотности и отрицательном давлении вакуума мир событий представлен однополостным гиперboloидом с осью времени в роли оси симметрии и с трёхмерными ортогональными этой оси расширяющимися (после предельного сжатия) пространственными трёхмерными сферами. При этом гиперboloид имеет трёхмерные пространственные плоскости в роли образующих (напомним, что и обычный двухмерный гиперboloид образуется вращением прямой линии вокруг другой прямой линии, с ним скрещенной). Наблюдаемые плоские трёхмерные пространства расширяющейся Вселенной сопутствуют расширяющейся материи. При этом скорость увеличения расстояний между её элементами может быть любой: предельная скорость света ограничивает лишь причинно связанные области. Заметим также, что, строго говоря, скорость света не является в обычном смысле этого слова скоростью, поскольку для воображаемого светового наблюдателя из-за предельного лоренцева сокращения длин до нуля продольное измерение его пространства исчезает, и обычное 1+3 расщепление мира событий на одномерное время и трёхмерное пространство заменяется его 2+2 расщеплением. А поскольку собственным значением квантового оператора скорости является только плюс-минус скорость света, это расщепление следует считать первичным. Не удивительно, что все частицы рождаются в световом исходном состоянии как “безмассовые”, обретая ненулевую массу покоя после столкновений с другими частицами, изменяющими ориентацию их 3-импульсов на противоположные. В результате усреднения 4-импульсов нулевой длины исходных световых “безмассовых” частиц и возникает обычное 1+3 расщепление мира событий на макроскопическое время и пространство среды

взаимодействующих частиц с их в среднем уже времениподобными 4-импульсами и с размытой пространственной траекторией: ломаная линия со звеньями нулевой длины как бы образует размытую линию времени частицы, испытывающей на самом деле световое дрожание.

Первоначальную плотность естественно считать предельной планковской плотностью. Но тогда это мир де Ситтера планковской плотности с радиусом кривизны  $1.6 \cdot 10^{-13}$  см. Большой Взрыв естественно связать с релятивистским фазовым переходом вакуума. Сохраняющаяся масса Метагалактики (вакуум плюс вещество) была вакуумной массой, и вакуум почти всю свою массу отдал частицам вещества (в том числе излучения) как квантам возбуждения вакуума. Возник однополостный гиперболоид с радиусом кривизны перешейка  $10^{28}$  см. Рост радиуса кривизны на 41 порядок вызвал падение плотности на 123 порядка от планковской плотности до наблюдаемой критической плотности порядка  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>. Соответственно, космологический член уменьшился примерно на 82 порядка с величины примерно  $10^{26}$  см<sup>-2</sup> до величины  $10^{-56}$  см<sup>-2</sup>.

Масса Метагалактики равна массе струны планковской плотности, планковского сечения и длиной  $10^{28}$  см. Эта струна словно была вначале плотно упакована в 3-сфере, а затем фрагментировалась в 3-сферу размера длины струны  $10^{28}$  см: фрагментация отвечала распаду вакуума. Сегодняшняя расширяющаяся Вселенная имеет асимптотичкой новый мир де Ситтера, новый однополостный гиперболоид с радиусом кривизны перешейка величиной (вместо прежнего размера порядка  $10^{-13}$  см) всё тех же  $10^{28}$  см.

Изложенные выше результаты, касающиеся фридмонов, частично содержатся в предыдущих наших публикациях [3–6] и приведены здесь для напоминания и полноты картины. Новым сейчас является более полное привлечение идеи дуальностей. Существуют две дуальности:  $T$ -дуальность и  $S$ -дуальность. Первая связана с энергетической эквивалентностью топологических и осцилляционных энергетических мод частиц. 4-импульс частицы равен  $(h\bar{\omega}, h\bar{\omega}, 0, 0)$ , где  $h$  – постоянная Планка, а частота связана со скоростью света и с длиной волны соотношением  $\bar{\omega} = c/2\pi\lambda$ . Если многомерную частицу представить вначале в виде шланга, то осцилляционные моды отвечают контурам без намотки вокруг него, а топологические определяются числами намотки. При дуальном преобразовании  $l \rightarrow l_f^2/l$  осцилляционные и топологические моды меняются местами, и начальная и конечная их совокупности энергетически эквивалентны друг другу. Рассмотренная выше дуальность – это  $T$ -дуальность самодуального фридмона длины  $l_f$  и дуальных друг другу величин планковской длины и начального размера Метагалак-

тики планковской плотности. Мы замечаем, что  $T$ -самодуальные фридмоны отвечают распаду начальной симметрии  $\tilde{E}(8)$  физических взаимодействий до точной симметрии группы  $S\tilde{U}(2)$ , а планковская длина и размер нуклона примерно отвечают распаду начальной симметрии  $E(8)$  до точных  $T$ -дуальных симметрий Стандартной модели  $SU(3)$  и  $U(1)$ .

$S$ -дуальность отвечает эквивалентности систем с константами взаимодействия  $g$  и  $1/g$ . Вспомним, что гравитационное взаимодействие примерно на 39 порядков слабее электромагнитного, определяемого постоянной тонкой структуры  $1/137$ , и на 41 порядок слабее сильного взаимодействия с константой 1. Взаимодействие,  $S$ -дуальное данному взаимодействию, тогда на 41 порядок сильнее сильного взаимодействия, что как раз и отвечает различию масштабов начального радиуса кривизны  $10^{-13}$  см. Вселенной с планковской плотностью и современного его значения  $10^{28}$  см. Таким образом, начальное и современное состояния Вселенной энергетически друг другу эквивалентны. Наблюдаемая материя есть результат распада начального мира де Ситтера планковской плотности, а конечное асимптотическое состояние расширяющейся Вселенной – это мир де Ситтера с критической плотностью, на 123 порядка меньшей плотности начальной.

Данная работа выполнена в рамках Программы Президиума РАН П7 “Экспериментальные и теоретические исследования объектов Солнечной системы и планетных систем звёзд. Переходные и взрывные процессы в астрофизике”.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] R. F. Polishchuk, *Gravitation and Cosmology* **3**(2), 123 (1997).
- [2] Р. Ф. Полищук, *Тетрадные токи торсионных полей Картана*. В: *Восьмая международная научная школа “Наука и инновации – 2013”* (Йошкар-Ола, ПГТУ, 2013), стр. 93-108.
- [3] Р. Ф. Полищук, “Гипотеза фридмонов как частиц тёмной материи”. *Материалы конференции “Астрофизика высоких энергий” НЕА-2011* (ИКИ РАН, Москва, 2011), стр. 62-63.
- [4] Р. Ф. Полищук, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **39**(8), 10 (2012).
- [5] Р. Ф. Полищук, “Связь масштабов объединения физических взаимодействий с массами Метагалактики и звёзд”. *Девятая международная научная школа “Наука и инновации – 2014”* (Йошкар-Ола, ПГТУ, 2014), стр. 107-113.
- [6] Р. Ф. Полищук, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **42**(9), 22 (2015).

Поступила в редакцию 25 января 2016 г.