

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

УДК 530.1; 53.02

## ВЕРОЯТНО ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ – МАГНИТНЫЕ АТОМЫ

В. В. Бурдюжа

*Магнитные монополи  $g^+$  и  $g^-$ , вероятно – главные компоненты тёмной материи, которые немедленно после рождения образовали атомы  $g^+g^-$ . У этих атомов найдены энергия аннигиляции (2.4 ГэВ) и энергия переходов серии Лаймана –  $Ly_\alpha$  (1.8 ГэВ),  $Ly_\beta$  (2.1 ГэВ) и  $Ly_\gamma$  (2.25 ГэВ). Гамма-эксцесс в галактическом центре, наблюдаемый Ферми обсерваторией в диапазоне (1–8) ГэВ с максимумом около 2.4 ГэВ, фиксирует наличие магнитных атомов. На галактической шкале магнитные атомы – тёмная материя. Кроме того, тёмная материя должна обязательно содержать лёгкие бозоны Голдстоуна с энергией  $\ll 1$  эВ, образующиеся в результате фазовых переходов при охлаждении Вселенной и фамилонны. Предсказывается развитие новой науки – астрофизики магнитных атомов и наличие таких монстров как –  $g^+e^-$ ,  $g^-e^+$ ,  $g^+\mu^-$ ,  $g^-\mu^+$ ,  $g^+\tau^-$ ,  $g^-\tau^+$ .*

**Ключевые слова:** магнитные монополи, уравнение Дирака, тёмная материя.

*Введение.* По старой традиции тёмной материей называют не светящуюся космическую субстанцию, которая проявляет своё наличие только гравитацией. Но тёмную материю могли образовать магнитные атомы ( $g^+g^-$ ) средних (ГэВ) энергий, состоящие из магнитных монополей. Ранее в работе [1] было проведено исследование вероятности образования таких магнитных атомов в приближении Швингера (которое наиболее симметрично). Но как выясняется, это приближение не соответствует наблюдениям. Рабочим приближением оказалось приближение Дирака, которое, как будет показано ниже, хорошо работает.

Магнитные монополи малых энергий с  $E \ll 1$  эВ были недавно обнаружены немецкими коллегами в спиновом льду [1]. Конечно, магнитные монополи могут быть как ГэВ-ных энергий, так и высоких энергий вплоть до  $10^{16}$  ГэВ. Наши коллеги из Калифорнии [3] также отметили, что магнитные монополи ГэВ энергий есть частицы тёмной материи. Важное предсказание сделал российский физик И. Рыжкин [4, 5], отметив, что магнитные монополи могут быть обнаружены в спиновом льду, в котором молекулы воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) в узлах кристаллической решётки “заменены” магнитными частицами – монополями. Электрический заряд протона определяется кварками  $+2/3, +2/3, -1/3 = 1$ , для нейтрона подобно  $+2/3, -1/3, -1/3 = 0$  и тогда ядерные конструкции в некотором роде – спиновый лёд (спиновый лёд – класс экзотических магнитов). Состав тёмной материи до сих пор не прояснён, хотя тёмная материя занимает 25% “бюджета” Вселенной. Только 5% бюджета – это частицы стандартной модели и 70% – вакуумная (тёмная) энергия. В данной статье предположено, что тёмная материя – магнитные частицы (монополи), которые образовали магнитные атомы ( $g^+g^-$ ), подобные атомам ( $e^+e^-$ ). Другая часть тёмной материи это – бозоны Голдстоуна, которые образовались в течение фазовых переходов при потере Вселенной высокой симметрии при её расширении и охлаждении. Вероятная цепочка фазовых переходов в начальный период эволюции могла состоять из следующих групп симметрии:

$$SO(10) \rightarrow SU(3) \times SU(2) \times U(1) \rightarrow SU(3) \times U(1) \rightarrow U(1). \quad (1)$$

Отметим, что теорию космологических фазовых переходов создал Д. А. Киржниц. В настоящее время наша Вселенная, состоящая в основном из барионов, далека от равновесия. Величина барионной асимметрии определяется следующим образом:

$$\eta_B = (n_B/n_\gamma) = (6.12 \pm 0.04) \times 10^{-10} \quad (2)$$

и решению этой нерешённой проблемы будет посвящена отдельная статья. В этой работе мы постараемся показать, что атомы ( $g^+g^-$ ) могут образовать тёмную материю. Чтобы избежать путаницы, заметим, что магнитные монополи существуют в двух “модификациях”: монополи, как топологические дефекты, с энергией  $\ll 1$  эВ; монополи, как частицы, могут иметь практически любые энергии.

*Основы теории магнитных зарядов и их атомов.* Конечно, интерес представляет обнаружить магнитные монополи в космосе. Фундаментальная формула для квантования зарядов была получена П. Дираком в 1931 году и имеет вид:

$$(eg)/\hbar c = k/2 \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots \dots, \quad (3)$$

где  $k$  – монопольное квантовое число. При  $k = 1$   $g = 68.5e$ . Для магнитных атомов ( $g^+g^-$ ) – постоянная тонкой структуры  $\alpha_g$  имеет огромное значение по сравнению с постоянной тонкой структуры для электрических атомов ( $e^+e^-$ )  $\alpha_e = 1/137$ :

$$\alpha_g = g^2/\hbar c = 34.25. \quad (4)$$

Отношение этих констант также очень велико:

$$(g^2/\hbar c)/(e^2/\hbar c) = 4692.25. \quad (5)$$

Теория Дирака не предсказывает масс магнитных монополей, но обычно полагают, что классический радиус монополя должен быть равен классическому радиусу электрона. Тогда:

$$m_g = (g/e)^2 m_e = 4692.25 m_e \sim 2.56 m_p \sim 2.4 \text{ ГэВ}. \quad (6)$$

С такой “огромной” постоянной тонкой структуры ( $\alpha_g = 34.25$ ) магнитные заряды должны немедленно образовать магнитные атомы ( $g^+g^-$ ), подобные электрическим атомам ( $e^+e^-$ ). Это следует из факта, что вероятности спонтанных переходов как электрических, так и магнитных имеют кубическую зависимость от частоты (энергии), а разница по энергии здесь примерно в  $10^9$  раз больше для магнитных атомов, чем для электрических. И это – важный момент! Из соображений симметрии магнитная динамика должна быть подобна электродинамике. В этом случае простейшая формула может быть использована для оценки энергии Лайман-альфа ( $Ly_\alpha$ ) перехода в магнитных атомах. Для уровня  $n = 2$  мы имеем:

$$E_2 = 2.4[(1/n_1)^2 - (1/n_2)^2] = 1.8 \text{ ГэВ}. \quad (7)$$

Для сравнения: энергия  $Ly_\alpha$  перехода у позитрония ( $e^+e^-$ )  $\sim 5$  эВ, и на этом простейшем атоме тестировали электродинамику.

*Светимость атомов ( $g^+g^-$ ), образующих гамма-эксцесс в галактическом центре.* Таким образом, энергия аннигиляция атома  $g^+g^-$  есть 2.4 ГэВ, а энергия  $Ly_\alpha$  перехода – 1.8 ГэВ. Зная её, можно оценить светимость в этой линии:

$$L = 4\pi E A n V \sim 10^{38} \text{ эрг/сек}. \quad (8)$$

Такая грубая оценка светимости в линии 1.8 ГэВ от галактического центра получена при вероятности перехода  $A \sim 10^{10} \text{ сек}^{-1}$ ,  $n \sim 10^{-19} \text{ см}^{-3}$  [6], если геометрия центра галактики – это сфера с радиусом в 0.01 парсек. Другие сильные линии серии Лаймана

$Lu_{\beta}$  (2.1 ГэВ) и  $Lu_{\gamma}$  (2.25 ГэВ) также попадают в диапазон гамма-экссесса. Гамма-экссесс, т. е. максимум в гамма-спектре излучения из центра галактики, обнаруженный обсерваторией Ферми в нашем галактическом центре [7], есть фиксация наличия магнитных монополей, которые образовали этот экссесс, а на галактической шкале это тёмная материя для нас [8]. После обнаружения гамма-экссесса, была выполнена работа [9], в которой наши американские коллеги отметили, что гамма-экссесс – аннигиляция частиц тёмной материи. В данной работе эта мысль наших коллег подтверждается. Наблюдать тандем (аннигиляция монополей – 2.4 ГэВ и их  $Lu_{\alpha}$  переход – 1.8 ГэВ) от других галактик – вероятное событие, как и наблюдение других линий серии Лаймана.

*Закалка магнитных атомов и их краткая история.* Существование магнитных монополей предсказал П. Кюри 130 лет назад [9], а их среднюю плотность во Вселенной оценили Я. Зельдович и М. Хлопов [5] через 84 года после их предсказания. Остался вопрос – когда закалились монополи? Ответ на этот вопрос заставляет нас уйти в ранние эпохи эволюции Вселенной. Инфляционная парадигма (фазовый переход первого рода) была изобретена, чтобы разбросать избыток сверхтяжёлых магнитных монополей при рождении Вселенной в сильном гравитационном поле. В статье [11] нами была опубликована альтернативная к инфляции модель Вселенной, медленно раздувающейся в результате многократного повторения космологических циклов с образованием наблюдаемого числа частиц ( $10^{88}$ ). После множества пульсаций наша Вселенная, в конце концов, туннелировала с фридмановского (пульсирующего) режима на де ситтеровский режим, который оказался термодинамически неустойчивым, что привело раннюю Вселенную к расширению. В течение суперсимметричного периода эволюции Вселенной ( $10^{-38} - 10^{-30}$ ) сек при рассеянии кварков на бозонах резкое отклонение от равновесия возникло из-за несохранения барионного числа [12]. Это привело к образованию барионной Вселенной с бюджетом частиц около 30% (5% – частицы стандартной модели, 25% – частицы тёмной материи). Инфляционная гипотеза А. Линде [13] автоматически решала проблему избытка сверхтяжёлых магнитных монополей – их выдуло из Вселенной в течение фазового перехода первого рода (инфляция). Автор этой статьи, не умаляя красивого предложения А. Линде, предпочитает механизм рождения Вселенной, который был предложен нами в [11]. В этом случае увеличение числа частиц происходило в результате многократного повторения космологических циклов с последующим квантовым туннелированием в термодинамически неустойчивую фазу, что привело к расширению Вселенной.

*Заключение.* Долголетний застой в исследовании магнетизма, вероятно, связан с локализацией магнитных монополей в узлах кристаллической решётки некоторых твёрдых тел. Но прогресс в магнетизме стал нарастать после обнаружения монополей в спиновом льду [2]. В статье [14] уже упоминается о возможном монопольном шуме в пульсарах с магнитными полями  $\sim 10^{15}$  Гаусс. В статье [15] авторы предлагают обнаружить магнитные монополи посредством эффекта Швингера на ускорителях. Также поиском магнитных монополей в разных энергетических диапазонах были заняты авторы работ [16, 17], которых унижали за эти поиски, т. к. была уверенность, что магнитных монополей не существует. Важное замечание сделано также в [18], по которому история “запертых” монополей “подобна” истории конфайнмента кварков. Но, чтобы продолжить многолетнюю монопольную эпопею, надо выйти в космос. В космических условиях (вероятно, в ранние эпохи) могли реализоваться такие монстры из магнитных атомов как:  $g^+e^-$ ,  $g^-e^+$ ,  $g^+\mu^-$ ,  $g^-\mu^+$ ,  $g^+\tau^-$ ,  $g^-\tau^+$ , которые могут быть наблюдаемы и, что замечательно, новая наука – астрофизика магнитных атомов – должна развиваться. Главный же результат нашей статьи – магнитные атомы ( $g^+g^-$ ) ГэВ-ных энергий и бозоны Голдстоуна с энергией  $E \ll 1$  эВ с большой вероятностью – основные компоненты тёмной среды. Другая лёгкая голдстоуновская частица – фамилон, также должна быть в составе темной материи. В стандартной модели физики частиц есть 3 поколения частиц и без образования фамилонных никак не обойтись – да и фрактальную фрагментацию в среде из фамилонных пока заменить нечем. В нашей работе [19], развита модель преонной структуры материи, в которой появление трёх поколений частиц – естественное явление, и возникновение крупномасштабной структуры тёмной материи из фамилонных – следствие этой модели. Барионы повторили крупномасштабную структуру фамилонных, образовав свою крупномасштабную структуру Вселенной, которую мы наблюдаем. Таким образом, тёмная материя это – в основном магнитные атомы ГэВ-ных энергий и бозоны Голдстоуна с  $\ll 1$  эВ. Точка зрения автора на тёмные компоненты Вселенной, описанная в нашем обзоре [20], кардинально не изменилась, хотя и найден основной компонент тёмной материи – магнитные атомы. Для дальнейшего развития гамма-спектроскопии необходимо лучшее разрешение по энергии в ГэВ диапазоне. Эта статья посвящена памяти российского физика Роберта Сизова и американского физика Браса Кабреры, которых унижали за поиски магнитных монополей. Во многих учебниках прошлого века было  $\operatorname{div} B = 0$ , что противоречило уравнениям Максвелла.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. В. Бурдюжа, *ЖЭТФ* **154**, 751 (2018).
- [2] M. Bachmaier, G. Dvali, J. Valbuena-Bermúdez, *Phys. Rev. D* **108**, 103501 (2023). <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.108.103501>.
- [3] J. Terning, Ch. B. Verhaaren, *JHEP* **12**, 152 (2019). DOI: 10.1007/JHEP12(2019)152.
- [4] И. А. РЫЖКИН, *ЖЭТФ* **128**(3), 559 (2005). DOI: 10.1134/1.2103216.
- [5] И. А. РЫЖКИН, М. И. РЫЖКИН, *Письма в ЖЭТФ* **93**, 426 (2011). <https://doi.org/10.1134/S0021364011070095>.
- [6] Ya. B. Zel'dovich, M. Yu. Khlopov, *Phys. Lett. B* **79**, 239 (1978). [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(78\)90232-0](https://doi.org/10.1016/0370-2693(78)90232-0).
- [7] A. A. Abdo et al. (Fermi LAT Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **103**, 251101 (2009). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.251101>.
- [8] В. В. Бурдюжа, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **51**(12), 13 (2024). <https://doi.org/10.3103/S1068335624602000>.
- [9] L. Goodenough, D. Hooper, Possible Evidence of Dark Matter Annihilation in the Inner Milky Way from the Fermi Gamma Ray Space Telescope. arXiv: 0910.2998.
- [10] P. Curie, Gauss's law for magnetism & law of universal magnetism: calculate the charge of a monopole. *Séances de la Société Française de Physique*, Paris, 76, 1894.
- [11] V. Burdzyuzha, O. Lalakulich, Yu. Ponomarev, G. Vereshkov, *Phys. Rev. D* **55**, R 7340 (1997). <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.55.R7340>.
- [12] В. А. Матвеев, В. А. Рубаков, А. Н. Тавхелидзе, М. Е. Шапошников, *УФН* **156**(2), 253 (1988). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0156.198810b.0253>.
- [13] А. Д. Линде, *Физика элементарных частиц и инфляционная космология* (М., Наука, 1990).
- [14] A. V. Kluev, *Phys. Rev. D* **110**, 023011 (2024). <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.110.023011>.
- [15] B. Acharya et al., *Phys. Rev. Lett.* **133**, 071803 (2024). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.071803>.
- [16] R. Sizov, *Journal of Modern Physics* **11**, 1245 (2020). DOI: 10.4236/jmp.2020.118078.
- [17] B. Cabrera, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1378 (1982). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.48.1378>.
- [18] G. Dvali, J. Valbuena-Bermúdez, M. Zantedeschi, *Phys. Rev. D* **107**, 076003 (2023). <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.107.076003>.

- [19] В. В. Бурдюжа, *Астрономический журнал* **91**(6), 423 (2014). DOI: 10.1134/S106377291406002X.
- [20] В. В. Бурдюжа, *УФН* **180**, 439 (2010). DOI: 10.3367/UFNe.0180.201004j.0439.

Поступила в редакцию 17 марта 2026 г.

После доработки 6 апреля 2026 г.

Принята к публикации 7 апреля 2026 г.