

ВЗРЫВНОЙ МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИВНЕЙ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ПЕРЕСОЕДИНЕНИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Аннотация: В статье представлены исследования космических аппаратов Magnetospheres Multiscale (MMS) и их роли в обнаружении ливней электронов релятивистских энергий при поляризации квантового вакуума в космосе в процессе пересоединения (reconnection) в магнитных полях звезд и черных дыр. Указываются на возможность использования полученной информации о пересоединении при проектировании термоядерных реакторов и необходимость корректировки стандартной космологической модели Λ CDM (Λ - Cold Dark Matter).

Ключевые слова: квантовый вакуум, магнитное поле, поляризация, электрон, позитрон, черная дыра, пересоединение

1. Введение

«Новый тип электронных пучков был обнаружен в межзвездной среде» - под этим заголовком 3 декабря 2020 года ученые сообщили в новостях об открытии ранее неизвестного типа электронных пучков, которые образуются в межзвездной среде из-за взаимодействие излучений солнечной плазмы и магнитных полей. Статья с описанием исследования была принята к публикации в *Astronomical Journal*. Практически сразу после входа в межзвездную среду приборы «Вояджер» обнаружили в межзвездном пространстве электронные пучки неизвестной природы, движущиеся со скоростью, близкой к световой (рис. 1).

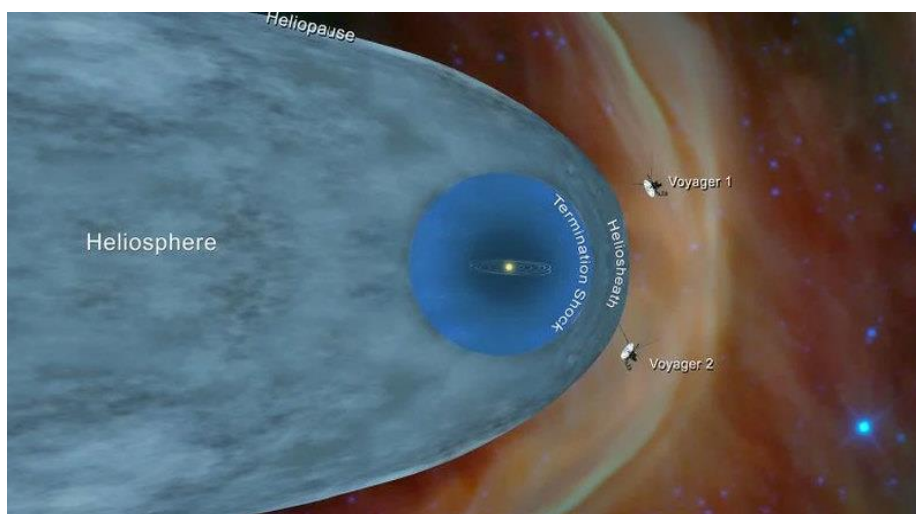


Рисунок 1. Два космических зонда "Вояджер" пересекли гелиопаузу на переднем крае гелиосферы, но с разницей в 67 градусов по гелиографической широте и 43 градуса по долготе.

Дальнейшие наблюдения и данные других инструментов показали, что эти ускоренные частицы были связаны с ударными волнами, которые ударяют в межзвездную среду вместе с корональными выбросами и другими проявлениями солнечной активности. Эти волны достигли "Вояджеров" через несколько недель после генерируемых ими электронных лучей. Выйдя за пределы гелиосферы, эти плазменные скопления начали взаимодействовать с магнитным полем межзвездной среды. В результате присутствующие в них электроны были ускорены примерно в 670 раз. «Мы давно знали, что ударные волны могут ускорять частицы. Однако в данном случае речь идет о неизвестном ранее механизме этого ускорения. Кроме того, мы открыли похожие пучки частиц в совершенно новой для нас среде - межзвездном пространстве. По своим свойствам они сильно отличаются от солнечного ветра, где это явление уже изучалось», - пояснил профессор Гарнетт.

2. Миссия Magnetospheric Multiscale (MMS)

Рассмотрим механизм образования электрон-позитронных пар в околоземном пространстве за счет процессов пересоединения - взрывного контакта двух силовых линий магнитного поля в тонких слоях магнитосферы Земли под действием солнечного ветра на высоте до 25000 км. Четыре зонда NASA в рамках миссии Magnetospheric Multiscale (MMS) зафиксировали резкий всплеск электронов и позитронов в тонких слоях магнитного поля Земли при столкновении магнитосферы и солнечного ветра, создающего экстремально - турбулентную зону [1]. Быстрые частицы и античастицы рождаются и разлетаются из этой зоны в точно противоположных направлениях. Эти струи частиц оказываются типичными для реконнекции. Исследователь Тан Фан из Калифорнийского университета в Беркли заявил, что разрешение предыдущих измерений зондов было недостаточно, чтобы выявить реконнексию в тонких слоях магнитного поля. В рамках миссии MMS каждый из четырех трехметровых восьмиугольных зондов несет на себе 25 сенсоров и все четыре зонда с 2015 вращаются вокруг Земли, выполняя основную задачу: исследовать взрывные краткосрочные процессы реконнекции. При этом важной их характеристикой является то, что измерительные инструменты обеспечивают точность и учет распределения частиц с временным разрешением в 37,5 и 7,5 миллисекунд. Такое разрешение в 80 и 400 раз соответственно выше, чем удавалось достичь ранее [1]. Создание электрон-позитронных пар в космическом квантовом вакууме (темная материя) при пересоединении в магнитных полях может быть одним из неизученных источников вторичных электронов и позитронов в космическом пространстве в непосредственной близости от источников сильных магнитных полей. «Измерения MMS имеют решающее значение, потому что мы можем понять, как магнитное пересоединение происходит где-то еще, даже если мы не можем туда добраться», - сказал Кевин Генестрети, исследователь MMS в Отделе Земли, океанов и космоса Юго-Западного исследовательского института. Благодаря MMS мы можем по-новому взглянуть на поведение плазмы в окрестностях черных дыр и на ядерные эксперименты на Земле. Плазма, то есть горячие заряженные газы, используемые в ядерных экспериментах, - это то же состояние вещества, через которое устройства MMS летают в космосе. Магнитное пересоединение, которое часто происходит внутри плазмы, представляет собой проблему для ученых, желающих удерживать плазму в ограниченном пространстве в ядерных экспериментах. Информация, полученная с помощью MMS, помогает ученым лучше понять и потенциально контролировать магнитное пересоединение, при котором электроны и потоки позитронов частиц и античастиц рождаются из квантового вакуума, летят со сверхсветовой скоростью в разных направлениях и разрушают стенки токамаков.

В совместной работе российских, японских и французских ученых, опубликованной 3 сентября 2020 г., в лабораторных условиях удалось получить раскаленное намагниченное вещество аккреционных дисков, идентичное структурам из окрестности черной дыры [2]. Внутри плазменного объема мишени, имеющего основные характеристики своего космического прототипа, магнитные поля были направлены навстречу друг другу. В то же время, в области соприкосновения противоположных магнитных линий произошла аннигиляция магнитного поля, что привело к появлению потоков электронов со скоростями, близкими к скорости света [2]. Этот процесс напоминает рождение релятивистских электрон-позитронных пар, обнаруженных в околоземном пространстве при пересоединении - взрывном контакте между двумя силовыми линиями магнитного поля в тонких слоях магнитосферы Земли, детально изученный миссией MMS.

3. Стандартная космологическая модель Λ CDM и создание частиц во Вселенной.

По данным космических аппаратов установлено создание электрон-позитронных ливней в космической среде квантового вакуума при пересоединении в магнитных полях рентгеновских источников Вселенной. Однако этот процесс нельзя описать с помощью космологической модели. Причина этого в том, что создание частиц приводит к нарушению симметрии во времени, а инвариантные уравнения общей теории относительности (ОТО) Альберта Эйнштейна, лежащие в основе космологической модели, этого не допускают. Вселенная Эйнштейна - это замкнутая

вселенная с постоянной энтропией, поскольку в такой вселенной нет необратимых процессов. Чтобы описать рождение материи в стандартной модели Λ CDM, необходимо допустить изменения плотности материи из-за рождения частиц, что приводит к нарушению симметрии во времени [3]. Лауреат Нобелевской премии профессор И. Пригожин предложил дополнить ряд переменных, входящих в стандартную модель (давление P , плотность массы-энергии σ и радиус Вселенной $R(t)$), дополнительной переменной n - плотностью частиц и дополнительным уравнением, связывающим Функция Хаббла с радиусом Вселенной $R(t)$ и рождением частиц n . В случае Вселенной, состоящей из частиц одного типа с массой M , когда плотность массы-энергии просто равна σ , а давление P обращается в нуль, Пригожин предлагает простое уравнение, которое учитывает создание частиц:

$$\alpha H^2 = \frac{1}{R^2} \frac{\partial n R^3}{\partial t} \quad (1)$$

где α – кинетическая постоянная, равная нулю или положительная.

В этом уравнении величина α и H положительны так как речь идет только о рождении (а не уничтожении) частиц. В пространстве Минковского рождение частиц быть не может (уравнение Уиллера - ДеВитта). Кроме того, во Вселенной, где общее число nR^3 постоянно, независимо от величины H , $\alpha = 0$ [4]. Далее, И Пригожин рассматривает, как рождение частиц приводит к модификации уравнений ОТО Эйнштейна с точки зрения первого и второго начал термодинамики. Он пишет: «Такой подход приводит к модификации уравнения Эйнштейна. В этом уравнении появляется член, который мы, сравнивая с ньютоновской физикой, отождествляем с давлением. К обычному давлению P добавляем дополнительное давление $P_{\text{дд}}$, обусловленное образованием частиц» [4].

4. Поляризация вакуума и превращение его в материю.

Рассмотрим особенности электромагнитного поля в вакууме с точки зрения классической электродинамики. Это, прежде всего, среда с абсолютной диэлектрической и магнитной проницаемостями (ϵ_a, μ_a), равными диэлектрической и магнитной постоянными:

$$\begin{aligned} \epsilon_a = \epsilon_0 &= \frac{1}{36\pi} 10^{-9} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}; \\ \mu_a = \mu_0 &= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Электрическая прочность этой среды должна быть бесконечно высока, из-за отсутствия носителей зарядов. Это означает, что напряженность электрического поля \mathbf{E} и напряженность магнитного поля \mathbf{H} , а также определяемая ими плотность электромагнитной энергии в вакууме могут быть бесконечно большими. Такой вывод, полученный с позиции теории классической электродинамики, в области высоких энергий оказался не состоятелен. В квантовой электродинамике экспериментально установлена нестабильность вакуума во внешних полях при значениях напряженности электрического поля $E_s = 1,32 \cdot 10^{16} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ (характерное квантово-электродинамическое поле Швингера) и напряженности магнитного поля $H = 10^{16} \text{ Тл}$, вызванного рождением в вакууме электрон-позитронных пар (эффект поляризации вакуума) из-за чего сам вакуум становится неустойчивым. При поляризации вакуума и его трансформации в вещество, изменение энергии вакуума w можно представить в виде суммы [5]:

$$w = w^p + w^\alpha \quad (3)$$

$$\text{где } w^p - \text{ поляризация вакуума, } w^p \ll E^2/8\pi \quad (4)$$

w^α - изменение энергии вещества при рождении частиц

$$w^\alpha = eET\kappa, \quad \kappa = \frac{e^2 E^2 T}{4\pi^3} \exp\left(-\pi \frac{m^2}{\hbar E}\right) \quad (5)$$

Рождение частиц является основной причиной изменения энергии вакуума. Малая величина обратной реакции w^p , влечет ограничение на напряженность электрического поля в течение заданного времени T ($E_s \approx 10^{16} \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ - критическое поле Швингера) [6]. Для электромагнитного поля плотность энергии поляризации квантового вакуума также может быть

представлена как сумма двух слагаемых (3). Где первый член w^p (w_0), квадратичный по электрическому и магнитному полям:

$$w_0 = \frac{(\mathbf{E}^2 + \mathbf{H}^2)}{8\pi} \quad (6)$$

определяет энергию невзаимодействующего электромагнитного поля до критических значений напряженности электрического поля Швингера $E_s = 1,32 \times 10^{16}$ [В × см⁻¹] и напряженности магнитного поля $H = 10^{16}$ [Гс]. Второй член w^a (w_1) описывает взаимодействие фотонов за счет образования электрон-позитронных пар [7]:

$$w_1 = 2D \left[3\mathbf{E}^2\mathbf{E}^2 - \mathbf{H}^2\mathbf{H}^2 - (\mathbf{E}^2\mathbf{H}^2 + \mathbf{H}^2\mathbf{E}^2) \right] + 7D \left[(\mathbf{EH})^2 + (\mathbf{HE})^2 \right] \quad (7)$$

Константу D можно рассчитать методами квантовой электродинамики [10] и в гауссовых единицах:

$$D \equiv \eta \frac{\hbar^3}{m^4 c^5} \quad (8)$$

$$\text{Где } \eta \text{ безразмерный коэффициент } \eta \equiv \frac{\alpha^2}{45 \times (4\pi)^2} \approx 7.5 \times 10^{-9} \quad (9)$$

α - постоянная тонкой структуры ;

m - масса электрона ;

c - скорость света.

Удобно записать коэффициент D через комптоновскую длину волны электрона $D = \hbar/mc$ в

$$\text{форме } D = \eta \frac{D^3}{mc^2} \quad (10).$$

Эксперименты показывают, что если внешнее поле действует на вакуум, то за счет его энергии возможно рождение реальных частиц [7]. Именно потому, что вакуум не виртуальный, а реальный физический объект (темная материя) и имеет структуру, поляризация вакуума приводит не к виртуальным, а к реальным радиационным поправкам к законам квантовой электродинамики [8].

5. Вывод

Таким образом, потоки релятивистских электронов, регистрируемые космическим аппаратом "Вояджер" при входе в межзвездную среду из гелиосферы, предлагается рассматривать как продукт квантовой поляризации вакуума под влиянием корональных выбросов и других проявлений активности Солнца в процесс пересоединения в магнитных полях. Аналогично рассматриваются процессы рождения электронов в противоположных магнитных полях черных дыр при пересоединении. Рождение новых частиц во Вселенной приводит к нарушению временной симметрии и требует адаптации к стандартной космологической модели Λ CDM.

REFERENCES

1. R. B. Torbert, et al. "Electron-scale dynamics of the diffusion region during symmetric magnetic reconnection in space," Science 15 Nov 2018: eaat2998, DOI: 10.1126/science.aat2998
2. K. F. F. Law, Y. Abe, A. Morace, Y. Arikawa, S. Sakata, S. Lee, K. Matsuo, H. Morita, Y. Ochiai, C. Liu, A. Yogo, K. Okamoto, D. Golovin, M. Ehret, T. Ozaki, M. Nakai, Y. Sentoku, J. J. Santos, E. d'Humières, Ph. Korneev, and S. Fujioka "Relativistic magnetic reconnection in laser laboratory for testing an emission mechanism of hard-state black hole system", Phys. Rev. E 102, 033202 – Published 3 September 2020
3. S. I. Konstantinov "Epistemological Dualism between Einstein's Relativity and Quantum Mechanics in the Five-Dimensional Continuum for Universe" Global Journal of Science Frontier Research: A Physics and Space Science Volume 20 Issue 6 Version 1.0 Year 2020
4. Пригожин И., Стенгерс И. «Время, хаос, квант». - Москва, «Прогресс», (1994).
5. Адорнов Т.К., Гаврилов С.П., Гитман Д.М., Феррейра Р., «Особенности рождения пар частиц в пиковом электрическом поле» – М.: Известия ВУЗов, Т.60, №3, (2017).

6. Гитман Д.М., Гаврилов С.П. «Описание процессов в сильных внешних полях в рамках КТП» - М.: Известия ВУЗов, Т.59, №11, (2016).
7. Полуэктов Ю.М., «О зависимости равновесной скорости света от температуры», Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», (2019),
8. Stanislav Konstantinov, “The Role of Vacuum Polarization in the Large Hadron Collider, Global Journals Inc. (USA) GJSFR-A, Volume 20, Issue 4, Version 1.0, pp 21-27, (2020)