

О ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКЕ СИГНАЛА СВЕРХВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ИСТОЧНИКА ЛЕБЕДЬ X-3

Б.А. Арбузов, Е.А. Разуваев

В работе показано, что временная задержка сигнала от источника Лебедь X-3, зарегистрированная по ШАЛ с $E \geq 3 \cdot 10^{14}$ эВ и отсчитываемая от максимума его радиовспышки в октябре 1985 года, объясняется в рамках предложенной ранее интерпретации излучения сверхвысокой энергии от этого источника как свободных глюонов. Отмечается согласованность этой интерпретации с совокупностью экспериментальных данных. Указывается на возможность большого вклада энергии взаимодействия реликтовых глюонов в плотность скрытой массы во Вселенной.

Эффекты, связанные с излучением сверхвысоких энергий от галактического источника Лебедь X-3, продолжают привлекать внимание. Это связано, в частности, с трудностями в теоретической интерпретации совокупности данных по широким атмосферным ливням (ШАЛ) и подземным мюонам (см., например, ¹, где содержатся также ссылки на экспериментальные работы). Недавняя экспериментальная работа ² дает качественно новую информацию по сравнению с предыдущими результатами. В ней установлен статистически значимый эффект излучения от источника Лебедь X-3 с энергией $E \geq 3 \cdot 10^{14}$ эВ, скоррелированный по времени с сильной радиовспышкой в октябре 1985 года. Самое существенное в обсуждаемом результате состоит в том, что сигнал ШАЛ имеет задержку по времени от максимума радиоизлучения в несколько суток. Разумно предположить, что всплески радиоизлучения и неизвестного излучения, вызывающего ШАЛ, имеют общее происхождение. Тогда временная задержка полностью исключает фотонную природу этого загадочного излучения. Такой эффект нельзя объяснить в рамках обсуждаемых в литературе предположений о природе этого излучения от источника Лебедь X-3, за исключением одной возможности, которая была предложена ранее ³. Этот вариант, основанный на возможности рождения состояний с открытым цветом при сверхвысоких энергиях, идентифицирует неизвестное излучение со свободными глюонами. Многократное рассеяние такого глюона сверхвысокой энергии на реликтовых глюонах, которые в случае справедливости обсуждаемого механизма с необходимостью должны присутствовать в пространстве, дает эффект углового разброса в данных по подземным мюонам. Именно этот эффект составляет одну из самых главных трудностей в интерпретации явления в других вариантах ¹. То же самое многократное рассеяние приводит и к временной задержке сигнала. Действительно, многократное рассеяние за счет сильного кулоновского взаимодействия между глюонами на расстояниях $r > r_0 = 10^{-12}$ см приводит к следующему суммарному среднеквадратичному углу рассеяния

$$\langle \theta^2 \rangle = nx \frac{225 G^4}{256\pi E^2} \ln \frac{1}{r_0 n^{1/3}} = \frac{A}{E^2}; \quad (1)$$

где $x = 3 \cdot 10^{22}$ см – расстояние до источника, $n = 10^3$ см⁻³ – плотность глюонов в среде ^{3,4}, а эффективная константа трехглюонного взаимодействия G определяется из асимптотики взаимодействия цветных зарядов и оценивается по порядку величины $G^2 \cong 10^3$ ^{4,5}. Как показано в предыдущей работе, такие параметры приводят к правильной оценке величины углового разброса порядка нескольких градусов при энергии 10 ТэВ. Поскольку в результате многократного рассеяния глюон высокой энергии летит от источника до Земли по некоторой ломаной, то происходит временная задержка, среднее значение которой легко выразить через средний угол рассеяния (1)

$$\overline{\Delta t} = \frac{x}{c} \frac{\langle \theta^2 \rangle}{4} = \frac{Ax}{4E^2 c}. \quad (2)$$

Можно вычислить также и дисперсию временной задержки

$$\sigma = \sqrt{\overline{\Delta t^2} - (\overline{\Delta t})^2} = \frac{x}{c} \frac{\langle \theta^2 \rangle}{\sqrt{24}}. \quad (3)$$

Используя данные ², имеем $\overline{\Delta t} \cong 5$ суток = $4,3 \cdot 10^5$ с для $E=300$ ТэВ, откуда пересчетом от (2) к (1) получим, что при $E=10$ ТэВ средний угол $\sqrt{\langle \theta^2 \rangle} = 2,3^\circ$, что вполне согласуется с наблюдениями ⁶. С другой стороны, зная $\overline{\Delta t}$, мы можем из соотношений (1), (2) получить значение G^2 , которое оказывается равным $2,5 \cdot 10^3$, что также согласуется уже с теоретическими оценками этой величины ^{4,5}. Согласно (3) дисперсия составляет 4 суток, что совместимо с данными ².

Таким образом, мы заключаем, что интерпретация излучения сверхвысокой энергии от источника Лебедь X-3 как свободных глюонов, предложенная в ³, согласуется как с данными по угловому разбросу, так и с новыми данными по временной задержке сигнала. Обратим внимание на то, что в данных ² нет никаких указаний на какие-либо фазовые корреляции. Это совершенно естественно для условий данного эксперимента, поскольку дисперсия $\sigma \cong 4$ суток существенно превышает период 4,8 часа, характерный для источника. Поскольку, согласно (2) временная задержка обратно пропорциональна квадрату энергии, то мы предсказываем, что при увеличении энергии ШАЛ в 10 раз до $3 \cdot 10^{15}$ эВ, устойчивые фазовые корреляции при наличии сигнала от источника будут проявляться, так как в этом случае $\sigma \cong 1$ час. Возможно, этот эффект наблюдался группой КИЛЬ ⁷.

Что касается фазовых корреляций, указания на которые имеются в подземных мюонных экспериментах, соответствующих меньшим энергиям, то следует иметь в виду их невысокую статистическую достоверность, а также неустойчивый их характер, который выражается в разногласиях между результатами разных групп. Вообще говоря, обсуждаемый механизм предсказывает для энергий 10^{13} эВ, характерных для этих экспериментов, отсутствие эффекта в фазе. Однако, неустойчивые фазовые корреляции, в случае их подтверждения, могли бы быть следствием коллективных эффектов обсуждаемой нами глюонной среды. До сих пор мы исходили из отсутствия какой-либо упорядоченности в этой среде. Однако, простые оценки показывают, что энергия взаимодействия, приходящаяся на один глюон

$$V = G^2 n^{1/3} = 1 \text{ эВ} \quad (4)$$

на несколько порядков превышает его тепловую энергию. Можно поэтому ожидать, что глюонная среда представляет собой не газ, но упорядоченную систему — "глюонный кристалл". Отметим, что на возможность такого состояния глюонной материи указывалось в литературе ⁸. При удачном расположении осей кристалла сигнал от источника может приходиться с аномально малым разбросом по времени, что отразится в наличии фазовых корреляций. Однако, такой эффект не может быть устойчивым, поскольку взаимное положение источника, Земли и среды постоянно меняется.

Отметим еще одно, не лишнее интереса, обстоятельство. Большая энергия взаимодействия реликтового глюона (4) обуславливает большой вклад глюонной среды в общую плотность материи во Вселенной. Действительно, значения (4) и $n=10^3$ дают для плотности глюонной материи оценку $\rho = 2 \cdot 10^{-30}$ гсм⁻³, что не так далеко от критической плотности $\rho_0 = 5 \cdot 10^{-30}$ гсм⁻³. Как известно, имеются веские теоретические ⁹ и наблюдательные ¹⁰ аргументы в пользу того, что истинная плотность материи во Вселенной равна критической, так как требуется скрытая форма материи, которая дает основной вклад в плотность. Здесь мы указываем на возможность того, что важный, возможно, определяющий вклад в скрытую массу дает глюонная среда.

Авторы выражают благодарность А.А. Логунову и А.Е. Чудакову за плодотворные обсуждения.

Литература

1. Березинский В.С., Иоффе Б.Л., Эллис Дж. ЯФ, 1987, 45, 132.
2. Алексеенко В.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1986, 44, 255.
3. Арбузов Б.А. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 430.
4. Арбузов Б.А. ЯФ, 1985, 42, 542.
5. Арбузов Б.А. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 403.
6. Battistoni M. V. et al Phys. Lett., 1985, 155B, 465.
7. Samorsky M. Stramm W. Astroph. J. Lett., 1983, 268, L17.
8. Линде А.Д. Письма в ЖЭТФ, 1978, 27, 470.
9. Logunov A.A. Mestvirishvili M.A. Prog. Theor Phys., 1985, 74, 31.
10. Einasto J.E., Kaasik A., Saar E.M. Nature, 1974, 250, 309.

Поступила в редакцию

1 декабря 1986 г.

17 февраля 1987 г.

Институт физики высоких энергий
