

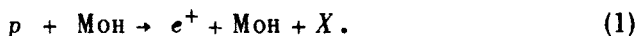
СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ МАГНИТНЫЕ МОНОПОЛИ И РАСПАД ПРОТОНА

В.А.Рубинов

Обсуждается возможность сильного несохранения барионного числа во взаимодействиях с участием магнитных монополей в объединенной теории с калибровочной группой $SU(5)$. Рассмотрены возможные экспериментальные следствия этого эффекта.

Объединенные теории сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий [1] предсказывают существование магнитных монополей типа Хуфта – Полякова с массой $M_{\text{мон}} \sim 10^{16}$ ГэВ [2]. В недавней работе автора [3] были высказаны соображения в пользу того, что эффекты связанные с аксиальной аномалией, приводят к сильному несохранению барионного числа во взаимодействиях с участием магнитных монополей. В настоящей статье мы обсудим такую возможность на примере простейших монополей в теории с калибровочной группой $SU(5)$ и рассмотрим возможные экспериментальные следствия несохранения барионного числа.

Простейший монополю в $SU(5)$ теории характеризуется магнитным зарядом $g_m = 2\pi/e$ и хромомангнитным зарядом $g_{cm} = 2\pi\sqrt{3}/g_c$, где g_c – глюонная константа связи [4]. Можно показать, что наличие аксиальной аномалии приводит к возможности процесса [3]



Этот эффект вполне аналогичен эффекту нарушения киральности и барионного числа за счет инстантонов [5], однако в отличие от последнего приводит к амплитуде процесса (1), не подавленной фактором $\exp(-\text{const}/e^2)$ или обратными степенями массы лептокварков [3]. Модельное вычисление, аналогичное приведенному в [3], дает

$$\langle M | u(r) u(r) d(r) e^-(r) | M \rangle = C/r^6, \quad (2)$$

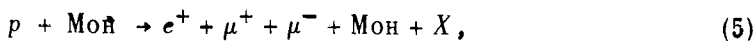
где $|M\rangle$ – состояние монополя, C – численная постоянная, не зависящая от констант связи, r – расстояние до центра монополя; в (2) предполагается, что $r \gg M_x^{-1}$, $r \ll M_p^{-1}$, где $M_x \sim 10^{14}$ ГэВ – масса лептокварка. Матричный элемент (2) соответствует процессу (1); в нерелятивистском приближении сечение этого процесса равно

$$\sigma = \sigma_0 c/v, \quad (3)$$

где v – относительная скорость монополя и протона. Вычисление константы σ_0 связано с необходимостью выхода за рамки теории возмущений; в качестве размерной оценки имеем

$$\sigma_0 \sim M_p^{-2}. \quad (4)$$

Кроме процесса (1) возможен также процесс [3]



отношение сечений процессов (5) и (1) может составлять несколько процентов (в отличие от процесса спонтанного распада протона, в котором соответствующее отношение имеет порядок $\alpha^2 \sim 10^{-4}$).

В теории с группой $SU(5)$ существуют также монополи с нулевым хромагнитным зарядом и с магнитным зарядом $g_m = 6\pi/e$ [4]. Можно показать, что и для таких монополей возможны процессы (1), (5) с сечениями (3), (4) (этот вопрос изучался автором совместно с М.С.Серебряковым и будет рассмотрен в отдельной работе).

Существование процессов (1), (5) открывает возможность регистрации реликтовых сверхтяжелых магнитных монополей в экспериментах по поиску нестабильности протона. Реликтовые монополи имеют энергию $E_{M\text{on}} \sim 10^{10} - 10^{12}$ Гэв [6, 7], что соответствует скорости $v_{M\text{on}} \sim (10^{-3} - 10^{-2})c$. Потери энергии реликтовых монополей при прохождении через вещество не превышают 10 Гэв/г [8, 7], поэтому монополи практически не теряют энергию, проходя через вещество Земли. При таких значениях скорости оценка (3), (4) для сечения процесса (1) имеет вид ¹⁾

$$\sigma \sim (10^{-25} - 10^{-26}) \text{ см}^2. \quad (6)$$

Поскольку в процессе (1) передача энергии мала (не превышает 1 МэВ), основное отличие обсуждаемых процессов от спонтанного распада протона состоит в относительно большой доле процессов (5), а также в возможности генерации нескольких распадов протона в одной установке, разделенных пространственным интервалом $10^{1 \pm 2}$ см и временным интервалом $10^{-6 \pm 2}$ сек (в веществе с плотностью 1 г/см³). Отметим, что при $v_{M\text{on}} \sim 10^{-2}c$ прохождение монополя через вещество сопровождается значительными ионизационными потерями (1 - 10 ГэВ/см [8, 7]), тогда как при меньшей скорости потери резко уменьшаются.

Чтобы получить представление о возможностях экспериментов по поиску нестабильности протона, найдем поток монополей, соответствующий времени жизни протона $\tau_p = 10^{31}$ лет. Взяв в качестве оценки $\sigma = 10^{-25}$ см², получим $j_{M\text{on}} = (\sigma \tau_p)^{-1} = 10^{-13}$ см⁻² · сек⁻¹, что близко к астрофизическим ограничениям ²⁾ [9, 7] $j_{M\text{on}} \lesssim 10^{-14}$ см⁻² · сек⁻¹.

Обсудим в заключение возможность проявления существования монополей внутри Солнца. Процессы (1), (5) приводят к появлению электрон-

¹⁾ Подчеркнем, что оценка (6) содержит значительную неопределенность, связанную как с грубостью оценки (4), так и с неточностью в определении скорости монополей, поэтому нельзя исключить возможность того, что сечение процесса (1) составляет 10^{-23} см² или 10^{-28} см².

²⁾ Последнее ограничение получено в предположении, что монополи выносятся магнитным полем из галактики; в противном случае ограничение на поток оказывается более слабым [7].

ных нейтрино в результате распада¹⁾ μ^+ . Современные эксперименты способны зарегистрировать поток таких нейтрино на Земле²⁾ $j_\nu \sim 10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$, что соответствует полному количеству монополей внутри Солнца $N_{\text{мон}} \sim 10^{27}$, если сечение процесса (1) дается формулой (3), (4), а появление μ^+ происходит в 1% актов распада. Отметим, что такое количество монополей попало бы внутрь Солнца за время 10^{10} лет при потоке $j_{\text{мон}} \sim 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Таким образом, существование процессов (1), (5) приводит к возможности регистрации монополей в экспериментах по поиску распада протона и имеет своим следствием возможность обнаружения монополей внутри Солнца в экспериментах по изучению солнечных нейтрино. Соответствующие потоки близки к ограничениям, полученным из астрофизических соображений.

Автор благодарен Г.В.Домогацкому, В.А.Кузьмину и М.Е.Шапошникову, обсуждения с которыми привели к появлению большинства соображений, касающихся экспериментальной обнаружимости процессов (1), (5), В.А.Матвееву за большой интерес и поддержку, И.М.Железных, Н.В.Красникову, В.Г.Лалчинскому, С.П.Михееву, А.А.Поманскому, М.С.Серебрякову, А.Ю.Смирнову, В.Ф.Токареву и М.Ю.Хлопову за интерес к работе и полезные обсуждения.

Институт ядерных исследований
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 мая 1981 г.

Литература

- [1] H.Georgi, S.L.Glashow. Phys. Rev. Lett., 32, 438, 1974.
- [2] В.Н.Романов, В.А.Фатеев. А.С.Шварц. ЯФ, 32, 1138, 1980.
- [3] V.A.Rubakov. Monopole-induced proton decay. Inst. for Nucl. Res. preprint P-0204, Moscow, 1981.
- [4] C.P.Dokos, T.N.Tomas. Phys. Rev., D21, 2940, 1980; M.Daniel, G.Lazariedes, Q.Shafi. Nucl. Phys., B170, 156, 1980.
- [5] G.'t Hooft. Phys. Rev. Lett., 37, 8, 1976.
- [6] E.Goto. Progr. Theor. Phys., 30, 700, 1963.
- [7] S.L.Glashow. Particle Physics beyond the High Energy Frontier. Scottish Univ. Summer School Lectures, 1980; G.Lazariedes, Q.Shafi, T.F.Walsh. Phys. Lett., 100B, 21, 1981.
- [8] H.J.D.Cole. Proc. Camb. Phil. Soc., 47, 196, 1951; E.Baner. Proc. Camb. Phil. Soc., 47, 777, 1951.
- [9] Г.В.Домогацкий, И.М.Железных. ЯФ, 10, 1238, 1969; E.N.Parker, Astrophys. J., 160, 383, 1970; Ya.V.Zeldovich, M.Yu. Khlopov. Phys. Lett., 79B, 239, 1978.

1) Как отметили В.А.Кузьмин и М.Е.Шапошников, образование распадных нейтрино не является специфической чертой рассматриваемых процессов: большинство процессов с энерговыделением порядка 1 ГэВ и выше приводит к образованию π^+ , и, в конечном счете, к появлению ν_e .

2) Эксперимент Дэвиса ставит ограничение $j_\nu < 2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Автор благодарен Г.В.Домогацкому, сообщившему ему об этой оценке.