

УДК 523.07

КИРАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕЙТРИНО ПРИ ВЗРЫВАХ СВЕРХНОВЫХ

В. А. Царев

Обсуждается возможность кирального воздействия на молекулы межзвездных газопылевых облаков, обусловленного взаимодействием с потоками нейтрино от сверхновых.

В последнее время, в связи с недавними открытиями в геологии и в космофизике, возродился интерес к "космическим сценариям" возникновения жизни на Земле, и тесно связанной с ней "киральной чистоте" биосферы (смотри, например, обзоры [1 – 4]). Глобальным фактором, действующим во всей Вселенной, могло бы быть нарушающее четность слабое взаимодействие, приводящее к расщеплению уровней энантиомеров. Как показывают расчеты, этот фактор действует в "правильном направлении" (т.е. делает предпочтительными левые аминокислоты и правые сахара), однако величина расщепления очень мала $\Delta E \approx 10^{-20}$ эВ. В качестве локальных космических факторов, приводящих к избытку одного из зеркальных изомеров, предлагались (а) электромагнитное излучение от намагниченных вращающихся объектов типа нейтронных звезд или белых карликов [5, 6], или (б) поляризованные электроны и позитроны, которые могут возникать при взрывах сверхновых в результате радиоактивных распадов нестабильных изотопов, выбрасываемых в космическое пространство, или в процессах нейтринорождения $\nu + N \rightarrow e + N$ [7]. Предполагается, что циркулярно поляризованное электромагнитное излучение или спиральные β -частицы могли бы селективно разрушать молекулы той или иной киральности в газопылевых облаках в межзвездном пространстве.

В настоящей работе рассматривается еще одна возможность кирального воздействия, связанная с нейтрино от сверхновых, а именно – прямое взаимодействие нейтрино с киральными молекулами газопылевого облака. Оценим как асимметрию, обусловленную селективным нейтринным радиолизом, так и расщепление уровней киральных молекул в нейтринном потоке.

Напомним, что взрыв типичной сверхновой сопровождается испусканием примерно 10^{58} нейтрино с энергиями 5 – 10 МэВ. При этом на начальной ("динамической") стадии, длящейся около $\Delta t_1 = 10$ мс, возникают в основном электронные нейтрино, число которых составляет примерно 1% от полного, тогда как 99% нейтрино (с примерно равным количеством нейтрино и антинейтрино всех ароматов) испускаются на последующей "тепловой" стадии, которая длится $\Delta t_2 = 1 - 10$ с [8]. Соответственно, на расстоянии R от сверхновой плотности потока электронных нейтрино на динамической стадии и каждого из типов нейтрино или антинейтрино на тепловой стадии примерно равны и составляют

$$J \approx 10^{57} (R/1 \text{ см})^{-2} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}.$$

Плотность гамильтониана взаимодействия нейтрино со свободным электроном [9] дается выражением

$$H = (G/\sqrt{2}) \{ \bar{\nu} \gamma_\alpha (1 + \gamma_5) \nu \} \{ \bar{e} \gamma_\alpha [(1 + \gamma_5) g_+ + (1 - \gamma_5) g_-] e \}, \quad (1)$$

где $G \approx 10^{-5}/m_p^2$ – константа слабого взаимодействия, m_p – масса протона, $g_\pm = (g_V \pm g_A)/2$ соответствуют вкладам левой и правой компонент электронного тока. В Стандартной Модели векторная и аксиальная константы выражаются через угол Вайнберга θ : $g_V = \pm 1/2 + 2 \sin^2 \theta$, $g_A = \pm 1/2$, где верхний знак соответствует ν_e , а нижний ν_μ или ν_τ .

Из (1) следует, что при рассеянии нейтрино на левом и правом электронах возникает разность энергий, пропорциональная плотности нейтринного потока J [10]:

$$\Delta E(\nu) = G^2 J \approx 3.8 \cdot 10^{-42} \text{ эВ} J (\text{см}^{-2} \text{ с}^{-1}). \quad (2)$$

Полное сечение рассеяния нейтрино на электроне [9]

$$\sigma(\nu) = 2\sigma_0(g_+^2 + g_-^2/3), \quad (3)$$

где $\sigma_0 = (G^2/\pi)m_e E \approx 8.6 \cdot 10^{-42} \text{ см}^2 (E/1 \text{ ГэВ})$ и первое и второе слагаемые в скобке отвечают вкладам рассеяния на левом и правом электронах соответственно. Аналогично для антинейтрино

$$\Delta E(\bar{\nu}) = -\Delta E(\nu), \quad (4)$$

а в выражении для сечения (3) следует поменять местами (+) и (-).

Из (3) разность сечений рассеяния нейтрино и антинейтрино на левом и правом электронах

$$\Delta\sigma(\nu) = 2\sigma_0(g_+^2 - g_-^2/3), \quad \Delta\sigma(\bar{\nu}) = 2\sigma_0(g_+^2/3 - g_-^2). \quad (5)$$

В симметричном пучке нейтрино и антинейтрино суммарная разность сечений

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma(\nu) + \Delta\sigma(\bar{\nu}) = (4/3)\sigma_0 g_V g_A \quad (6)$$

и асимметрия при рассеянии на электроне

$$A(e) \equiv \Delta\sigma/(\sigma(\nu) + \sigma(\bar{\nu})) = g_V g_A / (g_V^2 + g_A^2). \quad (7)$$

В силу приближенной симметрии потоков нейтрино и антинейтрино на тепловой стадии сверхновой и соотношения (4), вклад в спин-зависимую разность энергий будет давать в основном взаимодействие электронов с электронными нейтрино на динамической стадии.

Напротив, в спин-зависимую разность сечений (при учете теоретического значения параметра $\sin^2 \theta = 0.25$, при котором $g_V = 0$ для ν_μ и ν_τ) основной вклад дают электронные нейтрино и антинейтрино от тепловой стадии, при этом значение асимметрии равно $2/5$.

Перейдем теперь от электронов к киральным молекулам. Радиолиз можно рассматривать как выбивание связывающего электрона с типичной энергией несколько εB . Расчеты, проведенные в [11] для радиолиза под действием β -частиц малых энергий (порядка потенциала ионизации E_0), позволяют интерпретировать асимметрию радиолиза как результат отличной от нуля "плотности спиральности" h орбитального электрона, возникающую благодаря спин-орбитальному взаимодействию в киральной молекуле

$$h \propto \eta(\alpha Z)^2, \quad (8)$$

где $\eta = 10^{-2} - 10^{-3}$ – фактор молекулярной асимметрии, α – постоянная тонкой структуры и Z – электрический заряд наиболее тяжелого атома в асимметричном окружении в молекуле (например, для аминокислот $Z = 6$). При увеличении энергии в молекулярной асимметрии появляется дополнительный фактор $\propto (E/E_0)^{-1}$. Используя результаты [11] также для рассеяния нейтрино, найдем асимметрию рассеяния нейтрино на киральной молекуле при интересующих нас мэвных энергиях

$$A(\text{мол}) \approx A(e)h/(E/E_0) \simeq 10^{-11} - 10^{-12}. \quad (9)$$

Очевидно, что предлагаемое здесь "прямое" киральное воздействие нейтрино является более сильным, чем рассмотренное [7] "двухступенчатое" через рождение поляризованных электронов и позитронов, поскольку в последнем случае возникает дополнительная малость, связанная со вторичным взаимодействием.

Для оценки эффекта предположим, что сверхновая находится внутри пылевого облака с размером $R = 1 - 10$ пк, плотностью $n = 10^4$ молекул/см³ и долей органики $\zeta = 10^{-3}$. С учетом величины асимметрии (9), число столкновений, необходимое для статистической значимости эффекта, составляет $N \propto A^2 \propto 10^{10} - 10^{12}$, тогда как полное число взаимодействий электронных нейтрино и антинейтрино с органическими молекулами равно

$$N \approx (1/3)N_{tot}^{\nu} \sigma n \zeta R \approx 10^{32} - 10^{33},$$

т.е. эффект является статистически значимым.

В том же одноэлектронном приближении получим, что зеркальные изомеры различной киральности приобретают в потоке нейтрино на динамической стадии сверхновой разность энергий

$$\Delta E \approx 0.4(R/1 \text{ км})^{-2} \text{ эВ}. \quad (10)$$

Если считать, как и прежде, что взрыв сверхновой произошел внутри пылевого облака, то "киральные импульсы" от взаимодействия с нейтринным потоком могут оказаться существенным вплоть до расстояний порядка 10^{10} км, где (10) превосходит эффект нарушающего четность слабого взаимодействия. (Для сравнения заметим, что разность энергий электронов на Земле, обусловленная потоком солнечных нейтрино, составляет $\propto 10^{-38}$ эВ, а вблизи реактора $\propto 10^{-35}$ эВ. В силу симметрии "моря" реликтовых нейтрино и антинейтрино, движение Земли не приводит к спин-зависимому расщеплению уровней, в противоположность оценкам [10].)

Автор благодарен Н. И. Старкову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mason S. Chem. Soc. Rev., **17**, 347 (1988).
- [2] Mac Dermott A. J., Tranter G. E. Croatica Chemica Acta, **62** (2A), 165 (1989).
- [3] Гольданский В. И., Кузьмин В. В. УФН, **157**, в. 1, 3 (1989).
- [4] Keszthelyi L. Quarterly Rev. Biophysics, **28**, 473 (1995).
- [5] Bonner W. A. Orig. Life Evol. Biosphere, **21**, 59 (1991).
- [6] Greenberg J. M. et al. J. Biol. Phys., **20**, 61 (1994).
- [7] Cline D. "Chemical Evolution: Physics of the Origin and Evolution of Life" Ed. J. Chela-Flores and F. Raulin, Kluwer Acad. Publishers, 251 (1995).

- [8] Бакал Дж. Нейтринная астрофизика, М., Мир, 1993.
- [9] Окунь Л. Б. Лептоны и кварки, М., Наука, 1981.
- [10] Stodolsky L. Phys. Rev. Letters, **34**, вып. 2, 110 (1975).
- [11] Негстром Р. А. Nature, **297**, 643 (1982).

Поступила в редакцию 6 ноября 1998 г.