

УДК 576.15

ВЗРЫВ СВЕРХНОВОЙ КАК ИСТОЧНИК КИРАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В КОСМИЧЕСКОМ СЦЕНАРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ

Т. Сайто¹, В. А. Царев

Показано, что интенсивные потоки левополяризованных электронов от распадов нейтронов и ядер, испускаемых при взрыве сверхновой (СН), могут приводить к киральной асимметрии органических молекул в протосолнечном облаке, и взаимодействие этих электронов от близлежащей СН с протосолнечным облаком было неизбежным событием естественной истории.

История обсуждения проблемы происхождения биомолекулярной гомокиральности насчитывает уже около 150 лет. За это время было предложено большое число различных гипотез относительно возможного источника киральной асимметрии биоорганических молекул, однако ни одна из них до сих пор не получила всеобщего признания. Детальное обсуждение многочисленных предыдущих моделей источников асимметрии биомолекул можно найти в обзорах [1]. В последнее время были предложены несколько космических сценариев возникновения гомокиральности. Обычно предполагается, что на стадии предбиологической химической эволюции в межзвездном газопылевом облаке некоторые астрофизические источники могут дать первоначальный "киральный импульс", способствующий предпочтительному синтезу или разложению левых или правых зеркальных изомеров (энантиомеров) органических молекул. В дальнейшем биологически важные молекулы с избытком среди них левых или правых энантиомеров могут попасть на Землю и другие планеты Солнечной системы в процессе их формирования за счет аккреции и адсорбции. Последующая химическая (и биологическая) эволюция

¹Institute for Advanced Studies, Tokyo, Japan.

могла бы привести к накоплению и усилению кирального избытка и, в конечном счете – к киральной чистоте биосферы.

В настоящей работе, в рамках подобного сценария, мы приведем аргументы в пользу того, что взрыв CN мог бы быть (и должен быть) ответственным за образование киральной асимметрии органических молекул в протосолнечном облаке, и что взаимодействие частиц, испускаемых при взрыве расположенной неподалеку CN , с протосолнечным облаком было неизбежным событием естественной истории.

Основанием для последнего утверждения является тот общеизвестный факт, что газопылевое облако с массой, соизмеримой с массой Солнца, не может образовать звезду под действием собственного гравитационного поля без участия внешних сил. Сжатие, необходимое для образования звезды, может быть произведено только ударной волной, так что взрыв расположенной относительно недалеко CN должен был послужить триггером, вызвавшим коллапс протосолнечного облака, который, в конечном счете, привел к образованию Солнца и планет Солнечной системы [2]. Оценки для максимального расстояния между облаком и CN , при котором CN может вызвать коллапс облака, дают величину порядка 18 пк. Это значение следует из требования на энергию, необходимую для сжатия, из наблюдаемого соотношения изотопов и из размеров областей звездообразования [2]. Это расстояние относительно невелико, поэтому можно ожидать сильного облучения облака потоками частиц высоких энергий, образуемых при взрыве CN . В частности, в [3] были проведены оценки кирального эффекта, вызванного линейно поляризованными позитронами от распадов ядер ^{26}Al , выбрасываемых в межзвездное облако при взрыве CN . В этой же статье было отмечено, что источником вторичных позитронов могут быть нейтрино от CN , но оценок ожидаемого эффекта не было приведено. В работе [4] проведена оценка кирального воздействия, вызванного прямыми взаимодействиями нейтрино от CN с органическими молекулами. В настоящей работе, используя результаты работы [5], мы предлагаем более эффективный механизм кирального воздействия на органику межзвездного газопылевого облака, связанный с потоками продольно поляризованных электронов от CN .

Для определенности будем предполагать, что основным механизмом, приводящим к киральной асимметрии органических молекул в облаке, является асимметричный радиолиз, т.е., преимущественно разложение левых или правых молекул под действием продольно поляризованных левых электронов. Радиолиз можно рассматривать как выбивание связывающего электрона из молекулы. Вычисления [6, 7], проведенные для радиолиза, вызванного низкоэнергетическими бета-частицами (с энергиями порядка ио-

низационного потенциала I) показали, что асимметрия A (т.е., разность сечений рассеяния на левой и правой молекулах, деленная на сумму этих сечений) в этом процессе может быть оценена с помощью модели "спирального связанного электрона", в которой киральность молекулы является следствием спиральности h электрона,двигающегося по молекулярной орбите. Эта спиральность существует в киральной молекуле благодаря возмущению электронного связанного состояния спин-орбитальным взаимодействием и имеет порядок величины

$$h \propto \eta(\alpha Z)^2, \quad (1)$$

где Z – атомный номер кирального центра (например, $Z = 6$ для аминокислот), η – фактор молекулярной асимметрии ($\propto 10^{-2} - 10^{-3}$), который учитывает степень асимметрии молекулярной структуры, и α – постоянная тонкой структуры. При больших энергиях необходимо учесть дополнительный фактор $\propto (I/E)$, уменьшающий киральное воздействие. Для электронов с энергиями порядка 0.4 МэВ это приводит к значению асимметрии при рассеянии продольно поляризованных электронов на киральных молекулах

$$A \approx 10^{-11} - 10^{-12}. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь образование продольно поляризованных электронов при коллапсе СН. Как известно, в фазе коллапса в ядре звезды часть протонов преобразуется в нейтроны. В результате этого ядерное вещество внутри ядра звезды оказывается сильно обогащенным нейтронами. После взрыва ядро может превратиться в нейтронную звезду или черную дыру, или оно может быть полностью разрушено. В фазе выброса вещества, которая следует за коллапсом, внешние слои вещества с массой порядка 10 солнечных масс выбрасываются в окружающее межзвездное пространство, что приводит к интенсивным потокам нейтронов, протонов, ядер гелия и более тяжелых ядер. Ядра железа поглощают нейтроны и образуют нестабильные ядра, распадающиеся за счет бета-эмиссии. Точная доля ϵ выброшенных нейтронов неизвестна и может быть различной в различных моделях СН. В частности, в моделях типа [8], она может быть весьма значительной. В наших расчетах мы используем консервативную оценку $\epsilon = 10^{-3}$, что соответствует выбрасыванию приблизительно $N = 10^{55}$ нейтронов. Распады этих нейтронов (а также ядер нестабильных изотопов) приводят к образованию левополяризованных электронов с энергиями около 0.4 МэВ .

Предположим теперь, что на расстоянии $L \approx 15 \text{ пк}$ от $СН$ располагалось газопылевое облако, для которого мы примем следующие типичные значения параметров: размер порядка $R = 1 \text{ пк}$, плотность $\approx 10^4$ молекул в см^3 ($\approx 10^{-19} \text{ г/см}^2$), доля органических молекул в облаке $\xi = 10^{-3}$. В таком облаке электроны от $СН$ будут терять примерно 10^{-19} МэВ на сантиметр пути и, следовательно, будут иметь пробеги порядка 1 пк [3]. При средней передаче энергии в столкновении порядка 10 эВ , каждый из электронов испытает около $n_1 = 10^5$ взаимодействий до остановки в облаке. При этом полное число взаимодействий с органическими молекулами протосолнечного облака составит $N_{ac} \approx (1/4)\xi N n_1 (R/L)^2 \approx 10^{54}$. Эта величина на много порядков превышает величину, необходимую для того, чтобы киральное воздействие, вызванное облучением протосолнечного облака потоком поляризованных электронов от $СН$, было статистически значимым эффектом.

Сравним полученный результат с оценками для других, ранее предлагавшихся, механизмов кирального воздействия.

(1) Предполагая те же условия облучения и используя результаты [5], найдем для числа асимметричных взаимодействий нейтрино от $СН$ с органическими молекулами облака величину 10^{30} , на много порядков меньшую, чем для электронов.

(2) В [3] было рассмотрено киральное воздействие поляризованных позитронов от распадов ядер изотопа ^{26}Al , которые образуются в результате захвата нейтронов в $СН$ непосредственно перед взрывом и в процессе взрыва. Этот эффект также должен быть пренебрежимо малым по сравнению с эффектом взаимодействия левополяризованных электронов с молекулами облака вследствие очень малого потока ^{26}Al . Отношение потоков ^{26}Al и H составляет порядка 10^{-7} , как это следует из отношения потоков $^{26}\text{Mg}/\text{Mg}(= 0.05)$ в космических лучах, отношения $\text{Al}/\text{Si}(= 0.05)$ в источниках космических лучей и отношения потоков $H/\text{Si}(= 10.000)$ в Крабовидной туманности [9].

(3) В последние два десятилетия большой популярностью пользовалась модель кирального воздействия, обусловленного циркулярно поляризованной компонентой ультрафиолетового синхротронного излучения от нейтронной звезды [10]. Однако недавно было показано, что этот механизм вряд ли может быть эффективным [11]. Эксперимент свидетельствует, что у подавляющей части остатков $СН$ отсутствует какое-либо оптическое синхротронное излучение, а у тех остатков $СН$, где оно обнаружено (наиболее молодые остатки $СН$), отсутствует циркулярно поляризованная компонента. Так, по оценкам [11], для Крабовидной туманности циркулярно поляризованная компонента в УФ диапазоне не должна превосходить 0.00005%.

Таким образом, мы показали, что киральное воздействие, обусловленное взаимодействием испущенных при взрыве CH электронов с молекулами протосолнечного облака, более эффективно, чем другие рассмотренные ранее космические механизмы и является неизбежным фактом естественной истории. Важно подчеркнуть, что предложенный механизм имеет универсальный характер, т.е., не зависит от геометрии облучения (в отличие, например, от механизма [9], где знак кирального воздействия зависит от ориентации полюсов пульсара по отношению к облаку), поскольку электроны и нейтрино всегда имеют левые спиральности.

Неопределенности в наших оценках составляют в худшем случае примерно 4–5 порядков: один порядок в потоке нейтронов, по одному порядку в плотности вещества, доле органики в протосолнечном облаке и асимметрии взаимодействия и $\pm 50\%$ в оценках как расстояния между CH и облаком, так и размеров облака. Указанные неопределенности не могут изменить наших выводов, поскольку величина эффекта превосходит эти неопределенности на много порядков.

В заключение сделаем еще одно замечание. Взаимодействие электронов с протосолнечным облаком могло образовывать не только асимметричные органические молекулы, но также асимметричные металлоорганические соединения типа $(CH_3)_2Zn$ и $Cu(glyOCH_3)$ с переходными металлами, такими как Zn и Cu , которые весьма распространены в кометах. Хорошо известно, что эти материалы могут служить катализаторами для асимметричного синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В о п н е г W. A. Origin of Life and Evol. Biosphere, **21**, 59 (1991);
Г о л ь д а н с к и й В. И., К у з ь м и н В. В. УФН, **157**, 3 (1989);
А в е т и с о в В. А., Г о л ь д а н с к и й В. И. УФН, **166**, 873 (1996).
- [2] L a t t i m e r J. M., S c h r a m m D. N., and G r o s s m a n L. Nature, **116**, (1977).
- [3] C l i n e D. Comments Nucl. Part. Phys., **22**, 132 (1997).
- [4] Ц а р е в В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 1, 18 (1999).
- [5] Ц а р е в В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 2, 22 (1999).
- [6] H e g s t r o m R. A. Nature, **297**, 643 (1982).
- [7] M e i r i n g W. J. Nature, **329**, 712 (1987).
- [8] I m s h e n n i k V. S. Sov. Astron. Letters, **10**, 422 (1992).

- [9] Shapiro M. M., Silberberg R., and Wefel J. P. Cosmic Rays, Supernovae and the Interstellar Medium, ASI Series, **337**, (1990).
- [10] Greenberg J. M. in: Panamperuma C. (ed), Cosmochemistry and the Origin of Life, Kluwer Acad. Publ., Boston, 1983, pp. 71-112;
Bonner W. A., Rubinstein E. BioSystems, **20**, 99 (1987).
- [11] Bailey et al. Origins of Life and Evolution of the Biosphere, **31**, 167 (2001).

Поступила в редакцию 21 января 2004 г.