

УДК 53.047

## О САМОМ МОЩНОМ ИСТОЧНИКЕ КИРАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИМОЛЕКУЛЫ В КОСМОСЕ

Г. А. Гусев, З. Г. Гусева

*Исследованы мощные астрофизические источники кирального воздействия на биомолекулы в Галактике и за её пределами в космическом сценарии происхождения жизни. В основе действия таких источников на сахара и их предшественники лежит циркулярно поляризованный правый ультрафиолет от тормозного излучения позитронов, происходящих от радиоактивного распада кобальта  $^{56}\text{Co}$ . Максимальная масса радиоактивного кобальта  $^{56}\text{Co}$  достигается при взрыве Гиперновой, она может превосходить 10 масс Солнца. Показано, что мощность кирального ультрафиолета от Гиперновой превосходит таковую от Сверхновой 1a типа приблизительно в 4.5 раза, а от релятивистского нейтронного файерболла – в 9 раз.*

**Ключевые слова:** киральная асимметрия, сахара, происхождение жизни, Сверхновая 1a типа, позитронный распад кобальта  $^{56}\text{Co}$ , циркулярно поляризованный ультрафиолет, Гиперновая.

Проблема происхождения биомолекулярной гомокиральности в живой природе была поставлена около 160 лет тому назад в исследованиях Пастера [1]. Различные источники кирального воздействия на биомолекулы обсуждались в обзорах [2–4], в том числе и для космических сценариев [5–7]. В основе космических сценариев лежит предположение о том, что в протосолнечном межзвездном газопылевом облаке астрофизические источники могут вызвать затравочную киральную асимметрию органических молекул. Начиная с некоторого порога киральной асимметрии, при синтезе биологических молекул в химических реакциях сначала в Космосе, а потом на Земле возможно усиление киральной асимметрии до уровня, который является необходимым условием появления

“живых молекул” со специфическими свойствами биологической эволюции. При усилении киральности наступает киральная чистота биосферы. Под киральной чистотой биосферы понимается то, что клетки и организмы содержат преимущественно левые аминокислоты (белки) и правые сахара (рибоза нуклеиновых кислот ДНК, РНК и АТФ).

В работе [8] мы предложили идею, состоящую в том, что появление сильной затравочной правой киральности рибозы и её предшественников (формальдегид, синильная кислота, уксусная кислота) более существенно на предбиологическом этапе происхождения жизни, чем возникновение более слабой левой киральности аминокислот, рассмотренное в работах [5–7]. Дело в том, что нуклеиновые кислоты ДНК, РНК, в которые входит рибоза, обеспечивают работу наследственного аппарата (как основы стабильного существования и эволюции организмов), рибоза входит и в АТФ, обеспечивающую питание клеток. Роль рибозы становится центральной в образовании “фундамента жизни” – наследственного аппарата. В процессе синтеза белков в клетке их левая киральность определяется практически на 100% правой матрицей рибозы, входящей в состав ДНК и РНК, именно это необходимо для поддержания киральной чистоты в организме. Также важен аргумент, отмеченный в работе [8], в пользу доминантности сахаров, который следует из того, что существенно более сильным в сравнении с источниками левой киральности аминокислот является источник правой киральности сахаров от взрыва Сверхновой (СН) 1а типа.

Согласно оценкам [8] мощность кирального эффекта от правополяризованного ультрафиолета (УФ) мягче 7.8 эВ, генерируемого СН 1а типа, на два порядка превышает мощность источника левой киральности УФ от релятивистского нейтронного фибрбола (РНФ) [5], образующегося при взрыве Сверхновой (СН) второго типа. Правда, в [6] было упущено, что в работе [7] учитывалось подавление ультрафиолета на два порядка из-за малости толщины оболочки фибрбола [7] по сравнению с радиационной длиной тормозного излучения электронов, происходящих от распада нейтронов. С учётом этого можно было бы говорить даже о потенциальном выигрыше в киральности в 4 порядка. Однако следует учитывать, что в условиях СН 1а типа есть сильные эффекты подавления тормозного излучения позитронов из-за потерь их энергии на ионизацию в оболочке СН, и деградации их киральности из-за многократного рассеяния позитронов в сравнительно плотной среде, и томсоновского рассеяния УФ в оболочке СН, что сильно уменьшает окончательный киральный эффект УФ.

Для уточнения результата работы [8] рассмотрим следующую модель СН 1а типа: масса звезды до взрыва составляет 6 масс Солнца (МС), химический состав и соответствующие массы элементов после взрыва будем предполагать следующими: полная масса  $^{56}\text{Co}$  составляет 0.7 МС, масса углерода  $^{12}\text{C}$  – 1.4 МС, масса кислорода  $^{16}\text{O}$  – 1.4 МС, масса магния  $^{24}\text{Mg}$  – 0.8 МС, масса кремния  $^{28}\text{Si}$  – 0.9 МС, масса серы  $^{32}\text{S}$  – 0.8 МС, а другими специями можно пренебречь. Также мы считаем, что за интересующие нас времена плотность всех специй в оболочке СН однородна. Примем для скорости разлёта оболочки величину  $3 \cdot 10^4$  км/с. Будем оценивать приближённо киральные “заряды” за следующие четыре периода времени после взрыва: 1) первый 45–95 суток, 2) второй 95–145 суток, 3) третий 145–195 суток и 4) четвёртый 195–245 суток, вклад за весь остальной период может достигать 20–25% от полного эффекта. Этим периодам соответствуют следующие массы распавшегося кобальта  $^{56}\text{Co}$ : 1) 0.17 МС, 2) 0.1 МС, 3) 0.07 МС, 4) 0.05 МС (период полураспада  $^{56}\text{Co}$  77 суток [9]).

Радиационную длину  $l_{\text{rad}}$  при энергиях позитронов более 0.5 МэВ вычисляем согласно известной формуле (вклад в излучение УФ менее энергичных электронов опущен):

$$l_{\text{rad}} = (4n_e Z r_0^2 (\ln(2E/m_e c^2) - 1/3)/137)^{-1} \text{ при условии } 1 < E/m_e c^2 < 137/Z^{1/3}. \quad (1)$$

Здесь  $n_e$  – электронная плотность специи с зарядом ядра  $Z$ ,  $r_0$  – классический радиус электрона,  $E$  – энергия позитрона,  $m_e c^2$  – энергия покоя позитрона. В соответствующих объёмах оболочки средние радиационные длины с учётом всех специй равны: 1)  $l_{\text{rad}} = 7.5 \cdot 10^{16}$  см, 2)  $l_{\text{rad}} = 1.7 \cdot 10^{17}$  см, 3)  $l_{\text{rad}} = 9.5 \cdot 10^{17}$  см, 4)  $l_{\text{rad}} = 1.9 \cdot 10^{18}$  см. Средние длины ионизации позитронов для разных специй вычислялись по формуле  $l_{\text{ion}} = l_{\text{rad}} \cdot ZE/600$ , где  $E$  – средняя по распадному спектру позитронов энергия в МэВ для распада  $^{56}\text{Co}$ , мы взяли  $E = 0.8$  МэВ, тогда получается, учитывая все специи, 1)  $l_{\text{ion}} = 6.1 \cdot 10^{16}$  см, 2)  $l_{\text{ion}} = 4.1 \cdot 10^{17}$  см, 3)  $l_{\text{ion}} = 1.4 \cdot 10^{18}$  см, 4)  $l_{\text{ion}} = 1.8 \cdot 10^{18}$  см. Подавление  $K$  тормозного излучения при размерах оболочки больших, чем  $l_{\text{ion}}$ , можно оценить как  $K = l_{\text{ion}}/(l_{\text{ion}} + l_{\text{rad}})$ . Однако в нашем случае средние радиусы оболочек меньше соответствующих длин ионизации:  $R_1 = 10^{16}$  см,  $R_2 = 3 \cdot 10^{16}$  см,  $R_3 = 4.5 \cdot 10^{16}$  см,  $R_4 = 5.7 \cdot 10^{16}$  см, так что подавление в каждом из 4 объёмов будет больше:  $K_i = R_i/l_{\text{rad}}^{(i)}$ .

Также рассчитывается приближённо деградация киральности позитронов за счёт многократного рассеяния (теория Мольера), учитывая только вклад позитронов, рассеянных в переднюю полусферу. Получено подавление средней киральности в первом периоде до 0,75 от исходной, во втором – до 0.85, в третьем – до 0.85 и в четвёртом –

также до 0.85. И ещё очень сильное поглощение кирального УФ происходит из-за томсоновского когерентного рассеяния УФ на электронах нейтральных атомов оболочки СН, сечение  $\sigma_{TA}$  которого в расчёте на 1 атом даётся известной формулой

$$\sigma_{TA} = 8\pi Z^2 R_e^2 / 3, \quad (2)$$

так что средняя томсоновская длина  $l_{TA}$  для каждой специи атомов определяется с использованием формулы (2) и формулы  $l_{TA} = 1/nA \cdot \sigma_{TA}$  в каждом из объёмов, по которым находится средняя томсоновская длина  $l_T^{(i)}$ . Средние радиусы оболочки для всех периодов существенно больше соответствующих томсоновских длин. Для оценки интенсивности излучения, вышедшего за пределы оболочки СН, учитывалось излучение из шарового слоя толщиной в три  $l_T^{(i)}$  для всех четырёх периодов. Общий итог таков, что суммарный киральный эффект приблизительно в 1.7 раза больше эффекта от РНФ. Добавление ещё одного периода разлёта оболочки от 245 суток до 345 суток даёт увеличение выхода кирального ультрафиолета до 2 в единицах РНФ. Оптимизация параметров модели взрыва может дать увеличение эффекта до 3. Таким образом, общие выводы работы [8] сохраняются, хотя количественно киральный эффект УФ от взрыва СН 1a типа меньше в 50 раз по сравнению с результатом [8], где не были учтены механизмы подавления кирального эффекта УФ, которые оказались очень сильными.

Вполне естественно искать ещё более мощные источники правой киральности в Галактике и за её пределами. Таковыми являются взрывы Гиперновых звёзд (ГН) [9] очень большой массы, достигающей до нескольких сот МС. Существенно, что их число в Метагалактике очень велико. Это означает, что речь может идти и о жизни, могущей возникнуть в других галактиках, в том числе и на больших расстояниях от нашей Галактики (вплоть до  $z = 10$  [9], сотни мегапарсек), что в принципе интересно, хотя и недоступно эксперименту.

В последние годы были обнаружены рекордно яркие СН (SN 2006gy и SN 2007bi) [9], объяснение свойств которых требует синтеза очень большого количества радиоактивного  $^{56}\text{Ni}$ , для SN 2007bi около 7 МС, а для SN 2006gy – более 10 МС. В спектрах СН этих типов отсутствуют линии водорода и гелия, что является признаком взрыва углеродно-кислородного ядра очень массивной звезды, потерявшей к моменту коллапса водородную и гелиевую оболочки. Для дальнейших оценок рассмотрим в качестве примера ГН с исходной массой 150 МС и будем предполагать, что половина массы звезды была потеряна в результате нескольких малых взрывов. Будем предполагать, что в главном взрыве после распада  $^{56}\text{Ni}$  было выделено 14 МС радиоактивного кобальта  $^{56}\text{Co}$ , распадающегося на железо  $^{56}\text{Fe}$ , позитрон и нейтрино.

Согласно интерпретации кривой светимости, приведенной на рис. 9.6 монографии [9], можно считать, что ударная волна (УВ) от главного взрыва ГН прошла ранее сброшенные оболочки приблизительно за период от 50 суток до 150 суток. Полагают, что ранее сброшенные оболочки в нашем случае массой около 75 МС движутся гораздо медленнее основной УВ, например, со скоростью 5000 км/с, тогда УВ сильно затормозится.

При взаимодействии УВ с веществом ранее сброшенных оболочек происходит разогрев и ионизация вещества, а затем рекомбинация, так что на 50 сутки имеем практически нейтральную охлаждённую оболочку, исключая УВ. Таким образом, после этого момента продуцируемый тормозным излучением позитронов правополяризованный УФ распространяется в оболочке, где равномерно распределены радиоактивный кобальт  $^{56}\text{Co}$ ,  $^{56}\text{Fe}$  (вместе 14 МС) и другие более лёгкие элементы. Начиная с 50 суток после взрыва СН, добавляется водород ранее сброшенных оболочек (гелий опускаем для простоты). Как и в случае СН 1а типа ограничимся элементами:  $^{12}\text{C}$  (20 МС),  $^{16}\text{O}$  (20 МС),  $^{24}\text{Mg}$  (10 МС),  $^{28}\text{Si}$  (7 МС),  $^{32}\text{S}$  (8 МС), распределив их массы приблизительно так же, как и для СН 1а типа.

Для дальнейших оценок предположим, что вначале скорость УВ от основного взрыва ГН после нескольких суток составляет в среднем  $4 \cdot 10^3$  км/с, тогда за 50 суток после начала взрыва УВ окажется на расстоянии около  $1.7 \cdot 10^{15}$  см. После 150 суток согласно оценкам средней скорости, в предположении потери части кинетической энергии при взаимодействии оболочек на нагрев и возбуждение турбулентности около 10%, скорость УВ упадёт до  $28 \cdot 10^3$  км/с. Если предположить также, что вся захваченная масса ранее сброшенной оболочки полностью ускорилась и движется вместе с УВ и новой оболочкой от взрыва ГН, то при равномерном торможении УВ на 100-е сутки она окажется на расстоянии  $3.3 \cdot 10^{16}$  см, на 150 сутки – на расстоянии  $4.9 \cdot 10^{16}$  см, на 200 сутки – на расстоянии  $6.1 \cdot 10^{16}$  см и на 400 сутки – на расстоянии  $10.9 \cdot 10^{16}$  см. Пользуясь похожей моделью, как и для СН 1а типа, рассмотрим четыре периода после взрыва: 1) первый 50–100 суток, 2) второй 100–150 суток, 3) третий 150–200 суток и 4) четвёртый 200–400 суток. Этим периодам соответствуют следующие массы распавшегося кобальта  $^{56}\text{Co}$ : 1) 3.2 МС, 2) 2.1 МС, 3) 1.5 МС, 4) 1.9 МС. В отличие от СН 1а типа в модели ГН в достаточно массивную новую оболочку добавляется большая масса водорода старой оболочки (гелий также пересчитан в водород с погрешностью около 8%), но это не меняет общей картины различных механизмов деградации киральности.

В случае ГН расчёты дают следующие средние радиационные длины в соответствующих объёмах оболочки: 1)  $l_{\text{rad}} = 6.4 \cdot 10^{17}$  см, 2)  $l_{\text{rad}} = 1.5 \cdot 10^{18}$  см, 3)  $l_{\text{rad}} = 2.8 \cdot 10^{18}$  см, 4)  $l_{\text{rad}} = 1.2 \cdot 10^{19}$  см и соответственно ионизационные длины позитронов 1)  $l_{\text{ion}} = 3.5 \cdot 10^{17}$  см, 2)  $l_{\text{ion}} = 1.1 \cdot 10^{18}$  см, 3)  $l_{\text{ion}} = 2.3 \cdot 10^{18}$  см, 4)  $l_{\text{ion}} = 3.3 \cdot 10^{18}$  см. Также деградация за счёт многократного рассеяния (теория Мольера) даёт уменьшение киральности позитронов для первого периода составляет до 0.85, для второго – до 0.9, для третьего – до 0.9 и для четвёртого – также до 0.9. С учётом подавления, вызванного томсоновским когерентным рассеянием, в конечном счёте суммарный киральный эффект правополяризованного УФ от взрыва ГН в 9 раз больше, чем эффект от РНФ и приблизительно в 4.5 раза больше эффекта от СН 1а типа. Хотя масса радиоактивного  $^{56}\text{Co}$  при взрыве ГН в 20 раз больше, чем при взрыве СН 1а типа, действие механизмов подавления кирального эффекта УФ в рассмотренных нами моделях взрыва и моделях механизмов подавления выхода кирального УФ за пределы оболочек в межзвёздную среду даёт увеличение киральности только в 4.5 раза.

Таким образом, показано, что самым мощным источником кирального воздействия в Космосе, приводящего к преобладанию правых сахаров и их предшественников, являются взрывы ГН, сопровождающиеся генерацией правокиральных позитронов вследствие распада  $^{56}\text{Co}$ , тормозное излучение которых рождает правополяризованный УФ. Таким образом, вывод работы [8] о доминировании источников правой киральности, действующих на сахара, над источниками левой киральности, действующих на аминокислоты, при более строгом рассмотрении получил подтверждение.

Также отметим, что сильное киральное воздействие ГН позволяет увеличить “радиус действия” по сравнению с РНФ на порядок. В результате ГН подвергает значимому киральному воздействию объёмы, на три порядка превышающие рассмотренные нами ранее. Это означает, что вероятность нахождения туманностей в зоне значимого кирального воздействия также возрастает на три порядка, что можно считать эффективным увеличением киральной мощности взрыва ГН. К тому же большая энергия УВ при взрыве ГН вызывает гравитационную неустойчивость облучённых туманностей, необходимую для старта образования звезды и планет, в большем на три порядка по сравнению с РНФ объёме. Так что в большем объёме может происходить образование систем, похожих на Солнечную систему, увеличивая вероятность возникновения жизни во Вселенной.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Т. Саито, В. А. Царев, Краткие сообщения по физике ФИАН **31**(3), 16 (2004).
- [2] W. A. Bonner, OLEB **21**, 59 (1991).
- [3] В. И. Гольданский, В. В. Кузьмин, УФН **157**, 3 (1989).
- [4] В. А. Аветисов, В. И. Гольданский, УФН **166**, 873 (1996).
- [5] G. A. Gusev, T. Saito, A. V. Uryson, and V. A. Tsarev, OLEB **37**, 259 (2007).
- [6] Г. А. Гусев, Н. Г. Полухина, Т. Саито и др., Краткие сообщения по физике ФИАН **34**(7), 18 (2007).
- [7] Г. А. Гусев, В. А. Царев, Краткие сообщения по физике ФИАН **34**(10), 31 (2007).
- [8] Г. А. Гусев, З. Г. Гусева, Краткие сообщения по физике ФИАН **45**(5), 24 (2018).
- [9] А. В. Засов, К. А. Постнов, *Общая астрофизика* (М., Фрязино, 2006).

Поступила в редакцию 31 августа 2018 г.

После доработки 12 января 2019 г.

Принята к публикации 29 января 2019 г.