

УДК 53.047

ВЗРЫВ СВЕРХНОВОЙ 1А ТИПА И ПРОИСХОЖДЕНИЕ КИРАЛЬНОЙ АСИММЕТРИИ САХАРОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Г. А. Гусев¹, З. Г. Гусева²

Показано, что в космическом сценарии предбиологического этапа происхождения жизни в части появления затравки киральной асимметрии сахаров и их предшественников циркулярно поляризованный ультрафиолет от позитронов, порождаемых при распаде радиоактивного кобальта ^{56}Co , возникающего при взрыве Сверхновой 1а типа, является самым мощным астрофизическим источником кирального воздействия. Приведены аргументы в пользу того, что роль сахаров (рибозы) в происхождении жизни является главной по сравнению с аминокислотами. Свойства ядерных сил однозначно определяют наблюдаемый на Земле знак киральной асимметрии биосферы: сильное доминирование (киральная чистота) левых аминокислот и правых сахаров.

Ключевые слова: киральная асимметрия, сахара, происхождение жизни, Сверхновая 1а типа, позитронный распад кобальта ^{56}Co , циркулярно поляризованный ультрафиолет.

Обсуждение проблемы происхождения биомолекулярной гомокиральности (киральной асимметрии аминокислот и сахаров) в живой природе началось около 160 лет тому назад [1]. Обсуждение различных возможностей реализации источников кирального воздействия на биомолекулы можно найти в обзорах [2, 3]. Мы ограничимся космическими сценариями возникновения затравочной киральной асимметрии. В основе таких сценариев лежит предположение о том, что в протосолнечном межзвездном газопылевом облаке астрофизические источники киральных частиц и излучений (электроны, позитроны, циркулярно поляризованный свет) могут вызвать затравочную киральную асимметрию молекул. В дальнейшем при образовании Солнца и планетной системы

¹ ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: gusevgag@mail.ru.

² ИЗМИРАН им. Н. В. Пушкова, 142190 Россия, Москва, г. Троицк, Калужское ш., 4.

сравнительно малый избыток левых и правых энантиомеров соответствующих молекул в пылинках попадают на Землю и другие планеты в процессе формирования Солнечной системы.

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 дальнейшем усилении киральности могла бы возникнуть киральная чистота биосферы, необходимая для поддержания жизни и её устойчивости. 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 работах [4–6] в рамках упомянутых выше космических сценариев возникновения затравочной киральной асимметрии органических молекул в качестве источника кирального эффекта при синтезе аминокислот рассматривались поляризованные электроны и циркулярно поляризованный ультрафиолет, возникающие в результате распада нейтронов в релятивистском нейтронном файерболе от взрыва Сверхновой (СН) второго типа.

В этой работе мы высказываем гипотезу, что появление относительно сильной затравочной правой киральности сахаров (рибозы) и их предшественников (формальдегид, синильная кислота, уксусная кислота) более существенно на предбиологическом этапе происхождения жизни, чем более слабая левая киральность аминокислот, которая рассматривалась в работах [4–6]. Дело в том, что нуклеиновые кислоты ДНК, РНК и АТФ, в которые входит рибоза, обеспечивают работу наследственного аппарата (как основы стабильного существования и эволюции организмов) и питание клеток. Более того, в космическом сценарии возможно получить ответ на вопрос об однозначном выборе наблюдаемого в природе “знака” киральной асимметрии: левые аминокислоты, правые сахара. В биохимии известно, что правые сахара катализируют синтез левых аминокислот [7]. Важная роль в достижении киральной чистоты отводится автокаталитическим свойствам сахаров [8], когда правые изомеры сахаров увеличивают своё преобладание над левыми. В этом же направлении действует и свойство левых аминокислот катализировать синтез правых сахаров (автокаталитическая реакция Бутлерова [9]). Недавно в метеоритах обнаружено сильное преобладание правых изомеров сахаров в отдельных образцах до 45% [10]. Лидирующая в процессе происхождения жизни роль сахаров определяется и тем, что биомолекулы, образующие матрицу на основе сахаров,

ответственны за биологическую память и работу наследственного аппарата, которые лежат в основе естественного отбора, определяющего эволюцию биосистем.

Итак, рассмотрим в качестве источника кирального воздействия на синтез сахаров и его предшественников в Космосе потоки излучений, возникающих после взрыва СН 1а типа. Для нас важно то, что в результате термоядерного взрыва звезды с исходной массой менее 8–10 масс Солнца (МС) [11] происходит синтез ядер радиоактивного изотопа ^{56}Ni в количестве около 0.7 МС (возможный разброс от 0.4 до 1 МС [11]) и с периодом полураспада около 6.1 суток [11].

Образующаяся при взрыве СН 1а типа масса радиоактивного изотопа ^{56}Ni в несколько раз превышает таковую для СН второго типа, для которых она обычно менее 0.1 МС. Это ещё один аргумент в пользу рассмотрения СН 1а типа. Электронный захват ядром радиоактивного никеля ^{56}Ni приводит к образованию ядра радиоактивного кобальта ^{56}Co , которое в результате слабого взаимодействия испытывает позитронный распад с периодом полураспада около 77 суток в стабильное ядро железа ^{56}Fe . Рождающиеся в этом последнем процессе позитроны оказываются в основном (93%) правополяризованными. Эти позитроны практически полностью поглощаются в плазме относительно плотной оболочки звезды в первые десятки дней после взрыва СН и не могут рассматриваться как значительный источник киральности, как электроны в модели нейтронного файерболла [4–6]. В то же время их тормозное излучение на ядрах даст правополяризованные фотоны. После рекомбинации атомы железа ^{56}Fe и кобальта ^{56}Co будут основным поглотителем ультрафиолета (нас интересует интервал энергий тормозного ультрафиолета 5–10 эВ [2–4]). Ультрафиолет с энергиями ниже 7.8 эВ (ниже порога фотоэффекта атомов железа) уже через несколько десятков дней выходит в межзвёздное пространство без сильного поглощения.

Для определённости будем считать, что в соответствии с исходной массой произведённого радиоактивного никеля ^{56}Ni несколько более 0.5 МС масса полученного и распавшегося за год ^{56}Co составит приблизительно около 0.5 МС, который эффективен в биохимических реакциях с точки зрения передачи киральности молекулам. Далее в межзвёздном пространстве при распространении ультрафиолета до ближайшей туманности (объекта кирального воздействия ультрафиолета) будем пренебрегать слабым поглощением, ибо речь идёт об ультрафиолете с энергиями меньше минимального порога фотоэффекта наиболее многочисленных атомов межзвёздной среды, являющегося причиной сильного поглощения более жёсткого ультрафиолета.

Переход к экспоненциальному закону спада светимости СН происходит через 4–5

недель, или приблизительно через $3 \cdot 10^6$ с, так что на этот момент весь радиоактивный никель ^{56}Ni практически распался и грубо имеем суммарную массу нуклидов около 0.5 МС, из которых ядер радиоактивного кобальта ^{56}Co будет приблизительно $3/8$ МС, и остальная масса величиной $1/8$ МС состоит из ядер железа ^{56}Fe .

Остановимся подробнее на поглощении ультрафиолета в расширяющейся оболочке СН. Приблизительно к 40–50 дню после взрыва СН [11] вся кобальтожелезная оболочка будет нейтральным газом с небольшой примесью плазмы, то есть она будет практически прозрачна для ультрафиолета мягче 7.8 эВ. Следует отметить, что и для файерболла [6] ультрафиолет мягче 7.8 эВ доходит до протосолнечной туманности без поглощения, в работе [6] этому факту не было уделено должного внимания.

Начиная с этого момента, оставшийся радиоактивный кобальт ^{56}Co с массой приблизительно 0.31 МС будет источником позитронов правой киральности, которые, в свою очередь, рождают тормозной правополяризованный ультрафиолет. Чтобы оценить эффект кирального воздействия последнего на органику ближайшего газопылевого облака, предположим те же условия, размеры и геометрию расположения, что и в работе [6]: будем рассматривать расстояния от СН $L = 10$ пк, размер газопылевого облака $R = 1$ пк, плотность молекул в облаке $\sim 10^4 \text{ см}^{-3}$, доля органических молекул в облаке $\xi \sim 10^{-3}$. В работе [6] рассматривался максимально возможный релятивистский нейтронный файерболл от СН второго типа с массой нейтронов 0.08 МС и релятивистским γ -фактором 300. Переход из системы отсчёта, связанной с файерболлом, в систему, связанную с облаком, и связанное с этим релятивистское увеличение энергии ультрафиолета, генерируемого в файерболле, давало эффективный проигрыш в величине кирального эффекта ультрафиолета порядка 300 по сравнению с нашим случаем нерелятивистской оболочки. По случайному обстоятельству полное возможное число распадных электронов для выбранного в работе [6] файерболла и полное число позитронов для начальной массы 0.5 МС радиоактивного кобальта ^{56}Co совпадает и равно 10^{55} .

В результате из-за разницы числа электронов файерболла и позитронов СН имеем в нашем случае проигрыш в потоке ультрафиолета $k = 0.31/0.5 \approx 0.62$ и вместе с выигрышем 300 получаем выигрыш от обоих этих факторов в потоке ультрафиолета около 190, приблизительно на два порядка по сравнению с киральным воздействием на синтез аминокислот левополяризованного ультрафиолета от релятивистского нейтронного файерболла [6], эффект от которого считался сильнейшим из оценивавшихся ранее астрофизических источников [1, 6]. Как мы видели выше, киральный эффект на синтез сахаров правого ультрафиолета на два порядка больше.

Но одновременно с сахарами и аминокислоты вместо нужной для происхождения жизни левой частично получают правую киральность. Отметим, что свойство правых сахаров “катализировать” синтез левых аминокислот [7] может значительно подавлять “вредный” синтез правых аминокислот под действием правого ультрафиолета при условии контакта тех и других молекул.

На наш взгляд, возникновение киральной чистоты биосферы происходит в четыре этапа. На первом этапе в Космосе возникает сравнительно сильная затравочная правая киральность сахаров и менее сильная правая (“неправильная”) – аминокислот. На втором этапе ещё в Космосе в химических реакциях в твёрдотельной фазе (на поверхности пылинок) на матрице правых сахаров происходит дополнительный синтез левых аминокислот. На третьем этапе уже на Земле в автокаталитических фотохимических реакциях при участии циркулярно поляризованного ультрафиолета [9], происходит дальнейшее усиление киральной асимметрии. На четвёртом этапе в ходе биохимических реакций происходит её усиление благодаря каталитическому воздействию правых сахаров на синтез аминокислот левой киральности и наоборот – каталитическому воздействию левых аминокислот на синтез правых сахаров. На этом этапе решающую роль в усилении киральной чистоты начинает играть биологический (эволюционный) эффект простейшего естественного отбора уже на основе наследственного аппарата.

Природа этой асимметрии имеет не только “физическое происхождение” благодаря слабым взаимодействиям, слабо нарушающим закон сохранения чётности, но достаточным для “химического” усиления киральной затравки, которая при дальнейшем усилении переходит на “биологический” уровень в последующем предбиологическом синтезе больших биомолекул. Таким образом, из-за специфических свойств молекул сахаров (углеводов), важных для возникновения жизни на макроскопическом уровне (клетка, организм, популяция), в процессе эволюции через нелинейный процесс автокатализа сахаров [8] происходит сильное нарушение закона сохранения чётности при относительно слабой затравке. Автокатализ сахаров имеет прямое отношение к обогащению правых сахаров за счёт накопления числа переходов левых изомеров в правые из-за увеличения на каждом шаге массы катализатора, что обеспечивает в конечном счёте киральную чистоту биосферы, необходимую для жизни. В работе [8] также подчёркивается, что автокатализ сахаров является важнейшим условием возникновения жизни и лежит в основе эволюции больших биомолекул.

Представленная здесь картина однозначно (правые сахара, левые аминокислоты, а не наоборот) определяется свойствами ядерных взаимодействий. Они определяют появ-

ление радиоактивного кобальта ^{56}Co в большом количестве, распад которого благодаря слабым взаимодействиям даёт позитроны с правой киральностью. При их тормозном излучении она передаётся сначала ультрафиолету (носителю только электромагнитных взаимодействий), а потом и молекулам сахаров и их предшественников. Существенно, что источник правой киральности сильно превосходит по мощности источники левой киральности и вместе со свойствами сахаров (автокатализ) определяют их ведущую роль уже на пребиотической фазе.

Важным результатом этой работы является вывод о том, что ядерные и слабые взаимодействия, управляющие распадом нестабильных изотопов, вместе со свойствами сахаров однозначно определяют наблюдаемый “знак” киральности: правые сахара и левые аминокислоты. Считается, что мог бы реализоваться и противоположный выбор: правые аминокислоты и левые сахара. “Надёжность” такого выбора “знака” киральности обеспечивается как свойствами сахаров, так и тем, что рассмотренный источник правой киральности на два порядка по мощности превосходит источники левой киральности [1, 6]. Такое случайное “согласование” астрофизики мегамира, физики, химии и биологии в переходе от квантовой теории микромира через органическую фотохимию в мезоскопический мир больших биомолекул, а от них в биологический макромир к живой клетке и организму представляется так же невероятным, как и удивительным.

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); В. И. Гольданский, В. В. Кузьмин, УФН **157**, 3 (1989).
- [3] В. А. Аветисов, В. И. Гольданский, УФН **166**, 873 (1996).
- [4] G. A. Gusev, T. Saito, A. V. Uryson, and V. A. Tsarev, OLEB **37**, 259 (2007).
- [5] Г. А. Гусев, Н. Г. Полухина, В. А. Царев, А. В. Урысон, Краткие сообщения по физике ФИАН **34**(7), 18 (2007).
- [6] Г. А. Гусев, В. А. Царев, Краткие сообщения по физике ФИАН **34**(10), 31 (2007).
- [7] A. J. Wagner, D. Yu. Zubarev, A. Aspuru-Guzik, and D. G. Blackmond, ACS Cent. Sci. **3**(4), 322 (2017).
- [8] В. Н. Пармон, Химия и жизнь, № 5, 11 (2005).
- [9] J. P. Pinto, G. R. Gladstone, and Y. L. Yung, Science **210**, 183 (1980).
- [10] G. Cooper and A. C. Rios, PNAS **113**(24), E3322 (2016).
- [11] А. В. Засов, К. А. Постнов, *Общая астрофизика* (М., Фрязино, 2006).

Поступила в редакцию 30 января 2018 г.