

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДАХ

В.ВЛЕУШИН

Поступила 23 января 2013

Принята к печати 1 марта 2013

Мы анализируем химические аномалии, наблюдаемые в некоторых двойных звездах. С нашей точки зрения причины этих аномалий следующие: 1) ядерные процессы в ядрах; 2) диффузионное и конвективное перемешивание материи между соседними слоями с ядерным горением; 3) выброс материи с поверхности в межзвездное пространство. Рассмотрено влияние слияния компонентов кратных звезд в плотных звездно-пылевых комплексах на эволюцию химического состава. Показана возможность увеличения выхода нейтрино от подобных комплексов. Оценки потоков нейтрино от комплекса туманности Ориона и ядра Галактики показывают, что на уровне Земли они могут достигать величин: $5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$ и $10^4 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$, соответственно.

Ключевые слова: *кратные звезды; ядерный синтез; нейтрино*

1. *Введение.* Химический состав нашей Вселенной обусловлен двумя главными процессами: первичным нуклеосинтезом и ядерными процессами в звездах. Все особенности кривой распространенности элементов можно объяснить теми либо иными частностями этих двух процессов. Распределение изотопов от водорода до бора несет в себе свидетельства о физических условиях в ранней Вселенной (времена первичного нуклеосинтеза). Распространенности изотопов от углерода до трансурановых ядер связаны с особенностями ядерных процессов в звездах. Основной ход ядерной эволюции вещества предполагает пошаговую историю синтеза ядер в недрах звезд от самых легких ядер гелия до изотопов тяжелых трансурановых элементов. Причем каждый шаг формирования более тяжелых ядер в звездах должен наступать после гравитационного сжатия однородного по составу ядра, в котором до этого выгорел предыдущий элемент. Достаточно большое различие масс ядер, составляющих последовательность формируемых элементов, препятствует перемешиванию, что должно приводить к четко разделенной слоистой структуре недр звезды: водородная оболочка (незатронутая ядерными реакциями и сохраняющая первичный химический состав), гелиевый слой, углеродный слой и т.д.

Если бы предыдущий элемент выгорал полностью, а следующие ядерные реакции шли бы по одному каналу, структуру звезды можно было бы представить так:



Но уже, начиная с горения водорода, ядерные реакции могут идти по разным каналам, и в зависимости от температуры, плотности и начального химического состава, возможно большое количество вариантов. Слоевые источники ядерного горения, появление и исчезновение в разные моменты времени и в разных областях звезды зон перемешивания еще более усложняют картину ядерной эволюции, а отсутствие точных величин для указанных параметров делает выводы неоднозначными.

Тем не менее громадное большинство данных по химическому составу показывает, что мы имеем дело, в основном, с продуктами деятельности рассмотренных двух ядерных процессов: 1) первичный нуклеосинтез и 2) равновесный ядерный процесс (ϵ -процесс) в сверхновых звездах. Тщательное исследование химического состава атмосфер звезд показывает присутствие на поверхности некоторых из них продуктов ядерных реакций, что свидетельствует о наличии перемешивания между ядром и атмосферой [1]. Наиболее ясно этот эффект проявляется в массивных двойных звездах [2].

В данной работе мы рассматриваем некоторые особенности ядерной эволюции вещества в двойных звездах, которые можно подтвердить наблюдениями.

2. Химический состав звезд. Выводы о химическом составе наблюдаемого вещества во Вселенной делаются в основном на основе анализа состава атмосфер звезд, несмотря на то, что массы атмосфер составляют $\approx 0.01-0.001$ массы звезды. Практически все наблюдаемые объекты Вселенной состоят из 70% водорода, 28% гелия и 2% всего остального. Преобладание водорода наблюдается даже в атмосферах белых карликов.

Общий характер распределения элементов в звездах, Солнце и солнечной системе [3,4] представлен на рис.1, где наряду с солнечным химическим составом показан химический состав Проциона А [5,6]. Химический состав атмосферы Проциона А практически не отличается от солнечного.

Наиболее интересными особенностями этой кривой являются:

1. Три наибольших максимума: 1) H, He; 2) C, N, O и 3) Fe (железный пик).

2. Соотношение четно-нечетных (по номеру в таблице Менделеева) элементов - четных элементов всегда больше, чем соседних нечетных. Особенно хорошо выражено это свойство в области до ^{40}Ca . Здесь все четные элементы состоят из целого числа ядер гелия (альфа частиц).

2% тяжелых элементов было сгенерировано в звездах с момента их появления. Возможно, что сейчас в виде тяжелых элементов находится существенно большее количество вещества, но оно находится в недрах звезд и недоступно прямому наблюдению.

Преобразование водорода в гелий в звездах $M \leq M_{\odot}$ через pp или для

$M \geq M_{\odot}$ через CNO - цикл дает два нейтрино на один атом гелия.

Результат процесса - образование ${}^4\text{He}$ в ядре, и, если в звезде имеются условия для перемешивания, то на поверхности должно появиться какое-то дополнительное количество гелия. Однако найти этот избыток в звездах с $M \leq M_{\odot}$ практически невозможно, так как линий гелия в спектрах этих звезд нет.

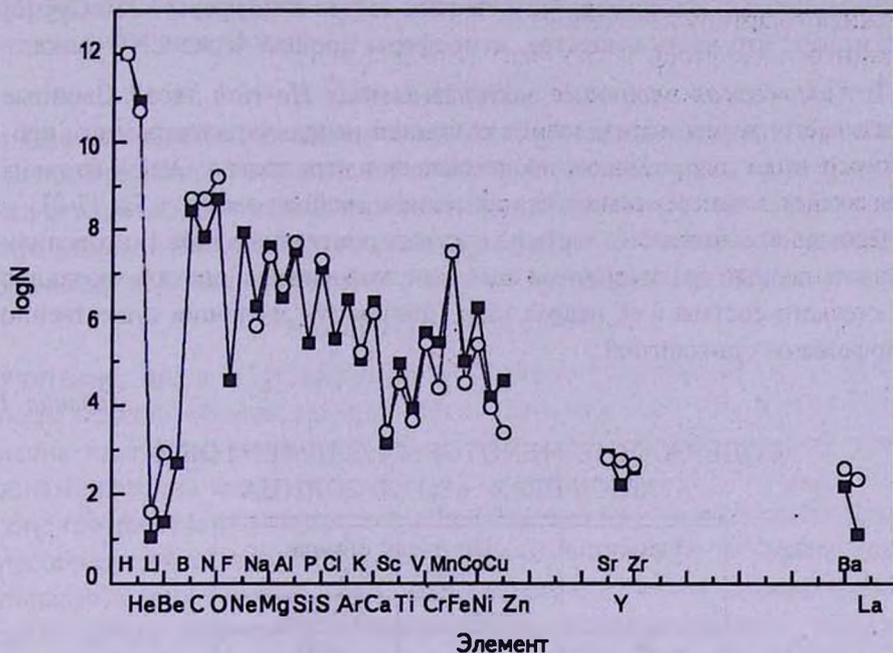


Рис.1. Содержание химических элементов в атмосфере Солнца (черные квадраты) и атмосфере Проциона А (светлые кружки).

Оценка содержания гелия для звезд с $M \leq M_{\odot}$ находится из условия $X + Y + Z = 1$.

По соотношению водород - гелий можно описать ядерную историю звезды, если известно первоначальное содержание водорода, гелия и металлов.

Например, по нашим оценкам возраст Проциона составляет $1.4 \cdot 10^9$ лет. Водород в ядре выгорел почти полностью (в ядре его осталось меньше 20%). Сравнительно малая эффективная температура не позволяет возникнуть линиям гелия в видимой области спектра Проциона, что затрудняет оценку содержания гелия в атмосфере Проциона. В то же время небольшое наблюдаемое расхождение в содержаниях C, N и O между Солнцем и Проционом А может свидетельствовать о перемешивании в главном компоненте двойной системы. Масса Проциона равна $M = 1.74 M_{\odot}$, а в звездах с $M > M_{\odot}$ выгорание водорода идет уже через CNO-цикл и именно следы работы этого цикла отражают наблюдаемое различие. При работе

CNO-цикла выгорание водорода мгновенно (за несколько тысяч лет) выходит на равновесный цикл, при котором практически весь углерод в области ядерных реакций превращается в азот. Соотношение четно - нечетных элементов внутри второго максимума разительно меняется, азота (номер 7) становится больше соседних элементов: углерода (номер 6) и кислорода (номер 8). Эти изменения достаточно хорошо определяются и в других двойных звездах. Например, химический состав атмосферы V380 Cyg [2] показывает, что часть вещества атмосферы прошла через CNO-цикл.

3. *Химическая эволюция экстремальных He-rich звезд.* Двойные звезды при определенных условиях позволяют напрямую изучать итоги продвинутых ядерных процессов, происходящих в ядре звезды. Одной из таких звезд является экстремально богатая гелием двойная звезда υ Sgr [7-9].

Данные исследований, часть из которых приведена в табл.1, позволили составить полный эволюционный сценарий этой звезды и описать эволюцию химического состава в ее недрах [10]. Причем эта эволюция существенно отличается от стандартной.

Таблица 1

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В
АТМОСФЕРАХ υ Sgr И СОЛНЦА

Элемент	По числу атомов $\log(N_i / \Sigma N_i)$	
	υ Sgr	Солнце
H	-3.40	-0.05
He	-0.01	-1.00
C	-2.31	-3.50
N	-2.15	-4.12
O	-3.41	-3.28
Ne	-2.76	-3.90
Fe	-3.85	-4.50

Система υ Sgr появилась на Главной последовательности 52 млн лет назад и состояла из компонент в $7M_{\odot}$ и $4M_{\odot}$.

5 млн лет назад главный компонент еще не потерял толстую водородную оболочку (масса последней составляла $4.5M_{\odot}$) и имел две зоны ядерного горения:

- 1) зону горения водорода на верхней границе гелиевого слоя над ядром,
- 2) зону горения гелия на границе углеродно-кислородно-неонового ядра.

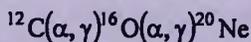
Включение в этот момент процессов слабого перемешивания создало наблюдаемые обилия H, He, C, N, O и Ne в атмосфере яркого компонента системы.

Длительность описанного ядерного процесса с одновременной потерей

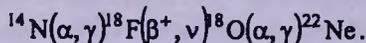
водородной оболочки для ν Sgr составила примерно 10000 лет. В результате система преобразовалась в двойную, состоящую из:

- 1) гелиевого гиганта с массой $2.5 M_{\odot}$, радиусом $40-50 R_{\odot}$, находящегося во второй стадии заполнения полости Роша уже с гелиевой оболочкой,
- 2) звезды Главной последовательности ($4 M_{\odot}$).

Большое содержание неона в ν Sgr говорит о далеко продвинутой стадии выгорания гелия. Неон образуется в результате реакций гелия с углеродом и кислородом



в ядре звезды, а затем выносится в те слои звезды, которые сейчас наблюдаются в результате потери оболочки. В этом случае мы должны предположить, что в ядре ν Sgr в период горения гелия в тройном α -процессе углерод стремительно превращался в кислород, а последний в неон. Одновременно возможно образование неона и в ядерной цепочке с азотом



Учитывая, что в ν Sgr наблюдается большое содержание азота (второй после гелия по обилию элемент), мы должны предположить, что генерация неона идет одновременно с генерацией азота. Перемешивание между зонами горения водорода и гелия приводит к тому, что генерируемый в зоне горения гелия углерод, попав в слоевой источник горения водорода, преобразуется в азот. Вещество, обогащенное азотом, в свою очередь, попадая в зону горения гелия, увеличивает количество неона, который затем опять выносится в верхние слои. Таким образом, создается одновременное обогащение и азотом и неоном.

4. *Формирование массивных звезд.* Рассмотрим еще одну проблему, приводящую в конечном итоге к резким изменениям в ядерной эволюции некоторых звезд. Это проблема формирования массивных звезд. Возникновению массивных звезд препятствуют силы возникающие в процессе гравитационного сжатия протозвездного облака и противодействующие гравитационной силе. В отличие от звезд малых и промежуточных масс звезды больших масс не могут формироваться в результате гравитационного коллапса в центрах молекулярных облаков. Сжатие останавливается, как только звездное ядро достигнет массы около $10 M_{\odot}$. В этот момент лучевое давление на падающее вещество останавливает аккрецию, что и лимитирует массу [11].

Альтернативная модель формирования массивных звезд основана на столкновениях и последующем слиянии звезд малых, промежуточных и больших масс в плотных центрах скоплений [12]. На первый взгляд типичные условия в областях формирования звезд (звездная плотность $n_* \leq 10^5$ на пк^{-3} и дисперсия скоростей $\sigma = 2$ км/с приводят к очень

большой временной шкале столкновений $t_{coll} \geq 10^{10}$ лет, что указывает на малую вероятность данного процесса. Однако некоторые особенности подобных скоплений могут драматически изменить картину. Прежде всего, такие изменения связаны с наличием спусковых механизмов звездообразования и большого количества межзвездной материи, которая может образовывать диски и оболочки вокруг звезд. Учет всех этих обстоятельств, в том числе и связанных с так называемыми эффектами гравитационной фокусировки, меняет временную шкалу столкновения до $t_{coll} \approx 10^5$ лет, что делает рассматриваемый процесс реальным.

Комплекс туманности Ориона (Orion Nebula) является ближайшим к нам и наиболее подробно изучаемым объектом, в котором могут протекать обсуждаемые процессы. Различные группы объектов комплекса туманности Ориона находятся от нас на расстоянии в 350-420 пк, имеют возраст от 1 до 12 Муг, обладают высокой звездной плотностью ($n_* \approx 5 \cdot 10^4$ пк⁻³), содержат большое количество ($10^2 - 10^3 M_{\odot}$) газа и пыли и имеют размеры 3-4 пк [13]. Исследования комплекса Туманности Ориона показывают, что в нем и сейчас идет звездообразование. Трапеция Ориона, возраст которой не может превышать несколько сотен тыс. лет, накладывает ограничения и на возраст звезд. Одновременно многочисленные кратные звезды могут свидетельствовать о протекании в комплексе процессов слияния звезд, приводящих к формированию массивных звезд. Спекл-интерферометрические и спектральные исследования кратных звезд в комплексе Туманности Ориона [12,14,15] показывают, что некоторые звезды в комплексе близки к контактному, и, возможно, находятся в начале процесса слияния:

Таблица 2

ВЕЛИЧИНЫ МАСС И РАССТОЯНИЙ КОМПОНЕНТОВ КРАТНЫХ СИСТЕМ В КОМПЛЕКСЕ ТУМАННОСТИ ОРИОНА

Звезда	Масса	Расстояние ρ [AU]
θ^1 Ori A	$16 M_{\odot} + 2 M_{\odot}$	1
θ^2 Ori A	$25 M_{\odot} + 9 M_{\odot}$	0.47
θ^1 Ori C	$45 M_{\odot} + 5 M_{\odot}$	16
NU Ori	$14 M_{\odot} + 3 M_{\odot}$	0.35
θ^1 Ori D	$21 M_{\odot} + 1.1 M_{\odot}$	0.39

Условием слияния компонент кратных систем является динамическая неустойчивость системы, которая возникает в результате образования "убегающих" звезд, уносящих избыток кинетической энергии системы. Наличие таких звезд в комплексе Туманности Ориона [16] является подтверждением существования процессов слияния с образованием массивных звезд.

Вероятно, увеличение точности определения масс и расстояний между звездами покажет наличие рассматриваемых процессов и в других скоплениях.

5. *Ядерные реакции.* Эволюционное время звезды, определяемое временем выгорания водорода в ядре, связано с массой соотношением $t_E = t_E^\odot (M/M_\odot)^{-3}$. Эволюционное время Солнца $t_E^\odot = 10^{10}$ лет.

Таблица 3

ЭВОЛЮЦИОННОЕ ВРЕМЯ И ВРЕМЯ ВЫГОРАНИЯ ВОДОРОДА В ЦЕНТРЕ ДЛЯ ЗВЕЗД РАЗНЫХ МАСС [17]

M/M_\odot	t_E лет	Время образования в ядре 98% ^4He
1	$10 \cdot 10^9$	$10.2 \cdot 10^9$
2	$1.25 \cdot 10^9$	$1.22 \cdot 10^9$
3	$0.37 \cdot 10^9$	$0.39 \cdot 10^9$
4	$0.16 \cdot 10^9$	$0.18 \cdot 10^9$
5	$0.08 \cdot 10^9$	$0.10 \cdot 10^9$

Эти соотношения дают для ядра звезды массой в $20 M_\odot$ время выгорания водорода около млн лет, для больших масс, соответственно меньше.

В то же время и наблюдения и расчеты [18] дают для звезд больших масс $t_{MS} = 1.6 \cdot 10^8 (M_\odot/M)$ лет, что приводит для звезды массой в $20 M_\odot$ ко времени сжигания водорода в ядре в 8 млн лет. Время же выгорания гелия до образования углеродно-кислородно-кремниевое ядра должно быть на 2-3 порядка меньше.

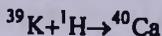
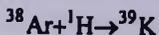
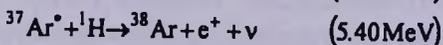
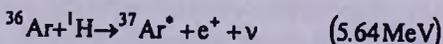
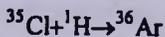
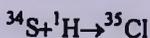
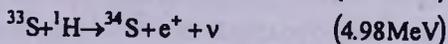
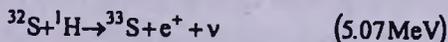
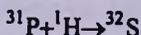
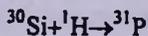
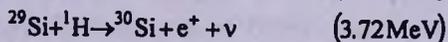
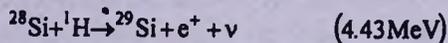
Если в комплексе туманности Ориона звездообразование началось в момент формирования комплекса (10-12 млн лет назад), то звезды больших масс ($20-40 M_\odot$) должны дойти до стадии формирования углеродно-кислородно-кремниевое ядра. Этого же времени достаточно для формирования двойных звезд столкновениями и вступления в фазу слияния компонент. При таком слиянии компонент двойных возникает проникновение в углеродно-кислородно-кремниевое ядро водорода от второго компонента, имеющего меньшую массу и все еще находящегося в стадии эволюции на Главной последовательности. Это существенно меняет ядерную эволюцию главной звезды. Водород, проникший в центр такой звезды, будет мгновенно реагировать с ядрами тяжелых элементов с выделением энергии, выделившаяся энергия может остановить гравитационный коллапс углеродно-кислородно-кремниевое ядра. Процесс ядерного горения водорода должен идти вплоть до образования железа. Для простоты можно рассмотреть цепочку реакций, начиная с кремния, хотя можно начать с ^{12}C или ^{40}Ca - эти ядра состоят из целого числа α -частиц, и их содержание определяется

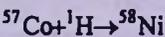
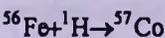
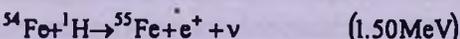
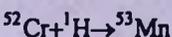
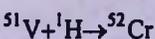
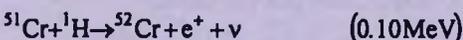
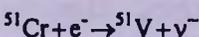
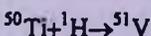
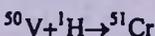
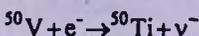
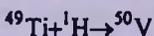
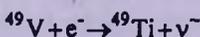
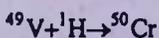
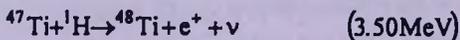
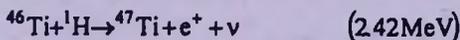
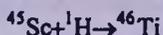
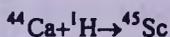
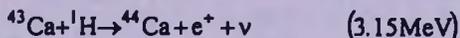
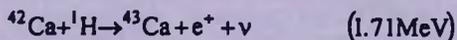
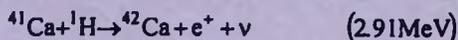
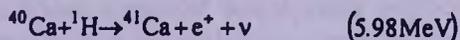
предыдущей ядерной эволюцией ядра и, прежде всего, температурами. Рассмотрим ядерные реакции кремниевого ядра с поступающим в результате слияния водородом.

В этой цепочке реакций 28 протонов и одно ядро атома кремния превращаются в ядро атома ^{56}Fe или в соседнее ядро железного пика. По сути это процесс синтеза железа в стационарном режиме.

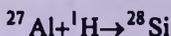
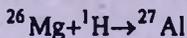
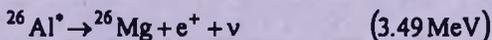
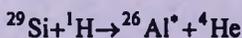
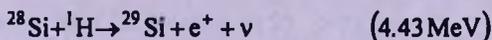
Если рассматривать слияние звезды с массой около $40M_{\odot}$ со звездой в $5M_{\odot}$, то можно считать, что в первой звезде закончилось выгорание углерода. Звезда находится в предпоследней стадии ядерной эволюции перед равновесным е-процессом и возможным взрывом звезды, как сверхновой. Ядро в этой стадии, вероятно, содержит в основном кремний и нагрето до 10^9 К. Скорости ядерных процессов с ядрами атомов водорода при физических условиях в центрах таких звезд очень велики. Темп же ядерных превращений, как и скорость генерации энергии, определяются здесь скоростью поступления водорода от сливающейся звезды в $5M_{\odot}$ в углеродно-кислородно-кремниевое ядро массивной проэволюционировавшей звезды. Энерговыведение, регулируемое количеством водорода поступающего от сливающегося спутника в зоны ядерных реакций главного компонента, может воспрепятствовать гравитационному сжатию компонента и привести систему в квазистационарное состояние.

Из рассматриваемой цепочки реакций следует, что в этом ядерном процессе происходит 16β -распадов и выделяется 16 нейтрино с энергиями до 5.98 MeV. В таблице реакций приведены максимальные значения энергий нейтрино, в предположении, что позитрон уносит только энергию в 0.511 MeV, связанную с его массой покоя. Если же учесть кинетическую энергию позитрона, которая может быть сравнима с тепловой энергией частиц, то энергия нейтрино должна быть уменьшена на 0.1-0.2 MeV.



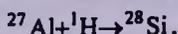
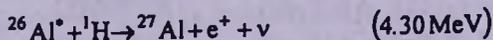


Цепочка указывает принципиальное направление процесса, самое начало процесса может протекать и по такому пути:



в этом случае выгорание водорода идет в циклическом процессе (аналог CNO - цикла). ${}^{26}\text{Al}^*$ радиоактивный изотоп с периодом полураспада

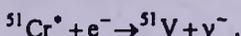
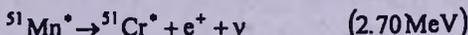
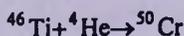
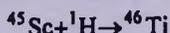
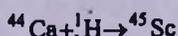
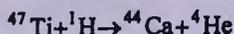
$T_{1/2} = 7.2 \cdot 10^5$ лет, поэтому здесь более вероятен такой процесс:



Продолжение:



Изменение каналов реакций может модифицировать энергетический спектр нейтрино.



6. *Оценка потока нейтрино.* 28 ядер водорода и одно ядро ${}^{28}\text{Si}$, превращаясь в ядро ${}^{56}\text{Fe}$, дают 16 нейтрино. При этом выделившаяся энергия, связанная с дефектом массы равна

$$\begin{aligned} E &= c^2 \Delta m, \quad \Delta m = m({}^{28}\text{Si}) + 28 \cdot m({}^1\text{H}) - m({}^{56}\text{Fe}) = \\ &= 27.976928 + 28 \cdot 1.00782504 - 55.934939 = 0.26109012 \text{ а.е.м.}, \\ E &= 0.26109012 \cdot 931.4812 \text{ MeV} = 243.2005 \text{ MeV}. \end{aligned}$$

Выделившуюся энергию несут нейтрино, позитроны и кванты. Кроме того, позитроны могут аннигилировать с электронами также по разным каналам (и один из них: $e^+ + e^- = \nu + \nu^-$). В стационарном случае вся выделившаяся энергия обуславливает светимость звезды. То есть, каждый цикл дает звезде примерно 240 MeV или $3.84 \cdot 10^{-4}$ эрг энергии.

Если в данный момент в комплексе туманности Ориона звезда в $40 M_{\odot}$ сливается со звездой в $5 M_{\odot}$, то ее светимость, обусловленная рассматриваемым процессом, должна быть равна:

$$L = L_{\odot} \cdot M^4 = 3.83 \cdot 10^{33} \cdot 40^4 \text{ эрг/с} = 9.8 \cdot 10^{39} \text{ эрг/с}.$$

И, следовательно, в каждую секунду там должно происходить $9.8 \cdot 10^{39} / 3.84 \cdot 10^{-4} = 2.55 \cdot 10^{43}$ циклов ядерных реакций, дающих по 16 нейтрино. Таким образом, поток нейтрино должен составлять $4.08 \cdot 10^{44} \text{ с}^{-1}$.

Следовательно на Земле поток нейтрино должен быть равен:

$$4.08 \cdot 10^{44} / (4\pi D^2) = 0.26 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2},$$

где D - расстояние до комплекса туманности Ориона - равно 400 пк или $1.2 \cdot 10^{21} \text{ см}$.

Таблица 4

ПОТОКИ НЕЙТРИНО ОТ СОЛНЦА

Источник нейтрино	Энергия, MeV	Поток, $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$
${}^1\text{H} + {}^1\text{H}$	0.42	$6.0 \cdot 10^{10}$
${}^{13}\text{N}$	1.20	$3.3 \cdot 10^8$
${}^{15}\text{O}$	1.74	$2.7 \cdot 10^8$
${}^8\text{B}$	14.06	$5.4 \cdot 10^5$

Для сравнения приведем здесь потоки нейтрино от Солнца (табл.4).

Если в комплексе туманности Ориона есть 10000 звезд подобных рассмотренной, то нейтринный поток на Земле от этого комплекса по величине приближается к потоку борных нейтрино от Солнца, что измеримо уже при современном развитии нейтринных телескопов.

Рассмотрим теперь временные характеристики обсуждаемого процесса. Масса водорода, проникшего в область описанных выше ядерных реакций, в каждую секунду должна быть равна $2.55 \cdot 10^{43} \cdot 28 \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} = 1.18 \cdot 10^{21}$ г/с, за год эта масса будет равна $3.72 \cdot 10^{28}$ г, что составляет $1.88 \cdot 10^{-5} M_{\odot}$ в год. Таким образом, слияние звезды в $40 M_{\odot}$ со звездой в $5 M_{\odot}$ и, соответственно, описанный выше процесс излучения нейтрино, будет продолжаться около 265000 лет.

7. *Ядро Галактики.* Другим местом для описанных выше процессов может быть ядро нашей Галактики.

Центр Галактики находится от Земли на расстоянии в 7-8 кпк или 21-24 тысячи световых лет ($1.99 \cdot 10^{22} - 2.27 \cdot 10^{22}$ см). Объем центрального уплотнения звезд близок к 1 кпк^3 и содержит звезды общей массой в $3 \cdot 10^{10} M_{\odot}$. Само же ядро с радиусом около одного парсека имеет в центре черную дыру с массой $(3-4) \cdot 10^6 M_{\odot}$ [19]. Плотность звезд в ядре Галактики меняется от $10^{17} M_{\odot}/\text{пк}^{-3}$ до $10^6 M_{\odot}/\text{пк}^{-3}$ [20]. Ясно, что здесь процессы слияния звезд, подобные тем, что мы рассматривали для комплекса туманности Ориона, должны иметь гораздо большую интенсивность.

Если в керне есть звезды, которые в результате слияния дают в секунду $4.08 \cdot 10^{44}$ нейтрино, то поток от каждой на Земле будет равен $1.02 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Таким образом, если во взаимодействии находится один процент звезд, поток нейтрино на Земле должен быть около $3.06 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$. Центр Галактики находится в направлении созвездия Стрельца со склонением $\delta = -29^\circ$. В верхней кульминации для широты $\varphi = 43^\circ$ (примерно широта САО и БНО) центр Галактики поднимается над горизонтом на 18° , в нижней кульминации опускается на 68° под горизонт. Таким образом, в течение суток между нейтринным телескопом и центром Галактики появляется и исчезает экран из Земного шара с максимальной толщиной

$D_{\text{Земли}} \cdot \cos 22^\circ = 0.93 \cdot D_{\text{Земли}}$. Возможно, для некоторых типов нейтрино этот экран может создавать суточную модуляцию потока.

8. *Заключение.* Рассмотренные здесь предположения, возможно, могут быть экспериментально проверены по измерению потоков нейтрино и исследованиям химического состава скоплений, в которых, вероятно, существуют рассмотренные процессы. Нейтрино несет информацию о процессах, происходящих непосредственно в ядрах звезд, причем спектр нейтрино связан с типом ядерных реакций. В то же время наблюдаемый химический состав в подавляющем числе случаев показывает первоначальное содержание элементов не затронутое ядерными превращениями. И только тогда, когда звезда или теряет оболочку (двойные звезды после заполнения полости Роша), или взрываются, как сверхновые, наблюдаемый химический состав может нести следы ядерной истории.

В случае существования рассмотренных выше процессов в каком-либо скоплении там существенно увеличивается выход энергии за счет ядерных реакций. Одновременно может измениться и химический состав, который в обычных случаях несомненно связан с равновесным ядерным процессом, протекающим в сверхновых звездах.

Слияния звезд в комплексах, подобных комплексу туманности Ориона и ядру Галактики, должны приводить к выделению и гравитационной энергии. Динамика процессов слияния может существенно менять как потоки нейтрино, так и временные и энергетические характеристики в рассматриваемых комплексах и всю ядерную и эволюционную историю звезд.

Специальная астрофизическая обсерватория, РАН,
Россия, e-mail: leushin@sci.lebedev.ru

ON THE PECULIARITY OF NUCLEOSYNTHESIS IN BINARY STARS

V.V.LEUSHIN

We analyse the chemical anomalies presently observed in some binary stars. From our point of view these anomalies are caused by the followings: 1) nucleosynthetic processes in the internal layers of the stars; 2) diffuse and convective mixing of matter in the contacting layers with the nuclear burning; 3) ejection of the surface matter into the interstellar medium. The influence of merge of components of multiple stars in dense star-dust complexes on

evolution of chemical structure is considered. The opportunity of increase of an output neutrino from similar complexes is shown. Estimations of flows neutrino from a complex Orion Nebula Cluster and the core of Galaxy show, that at ground level they can reach sizes: $5 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ and $10^4 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ accordingly.

Key words: *multiple stars: nucleosynthesis: neutrino*

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.С.Любимков, Химический состав звезд, Одесса, НПФ "Астропринт", 1995.
2. В.В.Леушин, Астрофизика, 30, 229, 1989.
3. K.Lodders, H.Palme, H.-P.Gail, Landolt-Bornstein, New Series, Astron. Astrophys., Springer Verlag, Berlin, p.560, 2009.
4. M.Asplund, N.G.Grevesse, A.J.Sauval, P.Scott, arXiv:0909.0948v1, 2009.
5. В.В.Леушин, В.В.Соколов, Астрофизические исслед., 12, 42, 1980.
6. В.В.Леушин, Астрон. ж., 62, 602, 1985.
7. В.В.Леушин, Г.П.Топильская, Астрофизика, 26, 195, 1987.
8. В.В.Леушин, Г.П.Топильская, Астрофизика, 28, 363, 1988.
9. В.В.Леушин, Г.П.Топильская, Астрофизика, 28, 554, 1988.
10. В.В.Леушин, Л.И.Снежко, В.В.Чуевков, Письма в Астрон. ж., 24, 45, 1998.
11. H.W.Yorke, Massive Stars, Their Lives in the Interstellar Medium. ASP Conference Series, Vol. 35. Eds. J.Cassinelli and E.Churchwell, San Francisco., p.45, 1993.
12. T.Preibisch, G.Weigelt, H.Zinnecker, The Formation of Binary Stars, ASP Conference Series, Vol. 200. Eds. H.Zinnecker, R.D.Mathieu, 2000.
13. J.Bally, Handbook of Star Forming Regions, Vol. 1 ASP Conference Series, 2008.
14. Э.А.Витриченко, Трапеция Ориона, М., 2003.
15. S.Simon-Dias et al., Astron. Astrophys., 448, 351, 2006.
16. A.Poveda, C.Allen, A.Hernandez-Alcantara, arXiv:astro-ph/0506002v1, 2005.
17. Yi.S.Demarque, P.Kim, Y.-C.Lee, Y.-W.Ree, C.-H.Lejeune, Th., & Barnes, S. Astrophys. J., 136, 417, 2001.
18. А.Г.Масевич, А.В.Тутуков, Эволюция звезд: теория и наблюдения. М. Наука, 1988.
19. А.В.Локтин, В.А.Марсаков, Лекции по звездной астрономии, Ростов на Дону, Тип, ЮФУ, 2009.
20. R.Schodel, T.Ott, R.Genzel et al., Nature, 419, 694, 2002.