

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЕРВИЧНОГО ГЕЛИЯ ПО РЕКОМБИНАЦИОННЫМ РАДИОЛИНИЯМ

А.П.Цивилев¹, С.Парфенов²

¹ Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино, Россия
tsivilev@pra0.ru

² Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Россия
grey1105@yandex.ru

ABSTRACT. The determination of the Primordial helium abundance (Y_p) by recombination radio lines (RRL) is made, and the new results over the paper [1] are presented. The results of new RRL H,He observations in source W51 at 8 and 13 mm are presented. Then new analysis of H and He RRL observation data on sixth galactic III regions, obtained at different time, is made. The $Y_p = 25.85(\pm 0.68)\%$ is obtained. This value allows to exist of unknown light particles at the Big Ban beginning, i.e. may assume a deviation from Standard Cosmological model.

Измерение Первичного гелия, $Y_p = (\text{He-4}/\text{H})$, образованного во время Первичного нуклеосинтеза, несомненно очень важно для современной космологии. Во время Первичного нуклеосинтеза (первые 2-3 мин после Большого Взрыва) кроме He-4 образовывалось еще несколько элементов: дейтерий (D), гелий-3 (He-3), тритий (T) и литий (Li-7). Но, если их выход зависел только от барионной плотности Вселенной, то выход гелия в большей степени зависел от условий закалки отношения нейтронов и протонов. Одним из условий было количество легких, релятивистских частиц (например, [2]) на момент закалки (~10-20 сек после Большого Взрыва). Таким образом, если указанные выше элементы являются индикатором барионной плотности Вселенной, то первичное обилие гелия является еще и индикатором наличия или отсутствия неизвестных легких частиц.

Вклад известных легких частиц в рамках Стандартной Космологической модели хорошо считается (например, [2]). Присутствие неизвестных легких частиц может означать отклонение от Стандартной Космологической модели.

Большая часть работ по оценке Y_p по рекомбинационным линиям была произведена в оптике (например, [3]). Известно, что оптические наблюдения подвержены систематическим эффектам (около десятка), которые накладывают ограничения на получаемый результат. Измерения в радиодиапазоне, по рекомбинационным радиолниям (РРЛ), имеют

свои преимущества [1]. Основное, в радиодиапазоне при больших уровнях возбуждения (главное квантовое число ~50 и более), гелий является водородоподобной системой. При этом, коэффициенты населенности идентичных уровней гелия и водорода одинаковы и при нахождении отношения (He/H) – сокращаются, т.е. не требуется модельных расчетов коэффициентов населенности уровней как в оптике. В результате измерения по РРЛ свободны от подавляющего числа проблем оптических измерений и могут дать дополнительные, независимые оценки содержания Первичного гелия. Последние такие оценки по РРЛ сделаны в статье [1], где для учета вклада звезд в производство гелия предложено использовать два способа: по зависимости Y от Z (содержание элементов, тяжелее гелия) для внутренних источников Галактики (расположенных к ее центру ближе т. Орион), и применять постоянную поправку для внешних источников. Значение Z берется из литературы или, если не известно, как модельное по Галактике.

В радиодиапазоне тоже существуют проблемы. По нашему мнению можно выделить две, наиболее влияющие на результат. Это коррекция за ионизационную структуру и вариации базовой линии спектрометра. Обе эти проблемы были исследованы.

С тех пор на РТ22 (Пушино) были проведены качественные наблюдения РРЛ H,He в источнике W51 в 2-х переходах: 56α (8мм) и 65α (13мм). Параметры РРЛ и некоторые результаты приведены в табл. 1. Это увеличило количество источников, где нами было измерено относительное содержание гелия по РРЛ. В литературе в это время появилось новые и более точные данные по наклону зависимости Y от Z ($dY/dZ = 1.62(\pm 0.29)$) [3]. Нами был проведен анализ расчета поправки за ионизационную структуру [4], где, в частности, было показано, что для III областей, возбуждаемыми горячими звездами ярче, чем $0.6V$, поправка за ионизационную структуру будет небольшая и практически постоянна [4].

Таблица 1: Параметры РПЛ в источнике W51 на длине волны 13 и 8 мм

РПЛ	Амплитуда, К	ΔV , км/сек	V_{lsr} , км/сек	Получено
H65 α	.411(.0023)	29.97(.23)	57.0(.12+.2)	$T_e = 8000(500)K$
He65 α	.0371(.0013)	32.35(1.4)	56.9(.46+.2)	$y^+ = 9.74(0.55)\%$
H93 γ	.0471(.0013)	30.4(1.0) fix	60.9(.34+.2)	
C65 α	.0112(.0036)	2.3(0.8) fix	56.4(.36+.2)	
H56 α	.2346(.0012)	30.2(.15)	56.3(.04+.2)	$T_e = 6780(500)K$
He56 α	.0272(.0010)	27.8(1.06)	58.5(.33+.2)	$y^+ = 10.68(0.56)\%$ (0.77 sys)%
C56 α	.004(.002) fix	3.4(1.6) fix	55.6 (.7+.2)	

Примечания: V_{lsr} , в скобках сумма ошибок: первая цифра – случайная ошибка, вторая- систематическая; fix – фиксирование параметра при фиттинге. Амплитуда линий дана в антенных температурах.

Таблица 2: Результаты определения Y_p по галактическим III зонам

Source	$N(He^+)/N(H^+)$	$\Delta y(IS)$	$N(He)/N(H)$	Z, metallicity	Y_p
	%	%	%		%
Orion A		См. [1]	10.0(0.8)	0.0112(.0022)	26.44(1.7)
W3A	9.9 (0.5)	-0.6	9.3(0.5)	distant	26.1(1.5)
M17	11.1(1.1)	-0.7	10.4(1.1)	0.0183(.0018)	25.88(2.2)
NGC7538	8.1(0.8)	См. [1]	8.9(.9)	distant	25.15(2.1)
W48	9.6(1.3)	~ 0.0	9.6(1.3)	0.0183(.0019) ^m	23.78(~3.0)
W51	9.98(0.48)	-0.44	9.53(0.48)	0.00967(0.0021)	25.92(1.1)

Примечания: distant – внешний источник, m – модельное значение Z по Галактике [5].

Поэтому, был проведен новый анализ данных по измерению содержания гелия, полученных нами по наблюдениям РПЛ в разное время. В таблице 2 приведены результаты этого анализа, где в первом столбце – источник, во втором – измеренное относительное содержание ионизованного гелия как отношение концентраций $y^+ = N(He^+)/N(H^+)$, в третьем – поправка за ионизационную структуру, в четвертом – отношение концентраций $N(He)/N(H)$, в пятом – содержание тяжелых элементов (из литературы) и в шестом – полученное значение Первичного гелия по массе.

Итак, по шести источникам получим среднее взвешенное значение: $Y_p = 25.85(\pm 0.68)\%$. Данная величина за пределами 1σ превышает значение Y_p , рассчитанное в рамках Стандартной Космологической Модели и, вероятно, указывает на присутствие неизвестных легких частиц во время Первичного нуклеосинтеза. Можно оценить их количество. Еще в 2004 г. ([6,7]) нами впервые было предложено использовать для этого разницу оценок Y_p , полученных по рекомбинационным линиям и ограничениями по измеренной барионной плотности из флуктуаций интенсивности реликтового фона.

Например, Page1 [8] выразил расчетный выход гелия при Первичном нуклеосинтезе по следующей формуле:

$$Y_p = 0.246 + 0.013(N_V - 3) + 0.18((\tau_V - 887) \text{ sec}/887) + 0.011 \ln(\eta_{10}/5)$$

Далее, считая, что время жизни свободного нейтрона (τ_V) мало отличается от 887 сек и второй член можно опустить, и объединив, далее, первый и последний член (зависимость от барионной плотности η_{10}) как измеренный по данным флуктуаций интенсивности реликтового фона, ($Y = 0.2476$, [9]), получим зависимость только от числа легких частиц типа нейтрино (N_V):

$$Y_p = 0.2476 + 0.013(N_V - 3).$$

Затем получим добавочное (свыше 3-х, т.к. в экспериментах на ускорителях с большой достоверностью было установлено, что число разновидностей нейтрино (N_V) близко 3.0 – например [2]) неизвестное число частиц типа нейтрино:

$$\Delta N = (Y_p - 0.2476)/0.013$$

В итоге получим, что $\Delta N = 0.3-1.4$, т.е. измеренное Y_p допускает существование каких-то легких частиц в первые ~10-20 сек после Большого Взрыва. Ранее тоже делался подобный вывод, но с меньшей достоверностью ([6],[7],[1]).

В последнее время к подобным результатам приходят и оптические измерения [3], хотя ранее они находили меньшее значение Y_p (например, [10]), не допускающее существования неизвестных частиц.

Итак, в последнее время оптические и радиоизмерения Первичного гелия по рекомбинационным линиям приходят к согласию о «высоком» содержании Y_p ,

допускающем присутствие неизвестных легких частиц во время Первичного нуклеосинтеза, т.е. отклонение от Стандартной космологической модели. Конечно, могут существовать и другие, менее вероятные объяснения большого содержания гелия [6]. В любом случае, работу надо продолжать и уточнять величину Y_p , чтоб или согласовать со Стандартной Моделью или усилить вывод о полученном превышении ΔN .

Литература

1. А.П.Цивилев: 2009, *ПАЖ*, **35**, №10, 745.
2. Г.В.Клапдор-Клайнгротхаус, К.Цюбер: 2000, *Астрофизика элементарных частиц* / М.: Ред. журн. "Успехи физ. наук".
3. Y.I.Izotov, T.X.Thuan: 2010, *Astrophys. J. Lett.*, **710**, 67.
4. Цивилев А.П., Парфенов С.Ю., Поляков А.М., Соболев А.М.: 2010, *Тез. докл. ВАК-2010*, 108.
5. P.A.Shaver, R.X.McGee, L.M.Newton et al.: 1983, *MNRAS*, **204**, 53.
6. Tsivilev A.P., Sorochenko R.L., Cortiglioni S., S.Poppi, Montebugnoli S.: 2004, *Odessa Astronomical Publications*, **17**, 103.
7. A.P.Tsivilev, S.Cortiglioni, S.Poppi, S.Montebugnoli: 2006, *Proc. of the ESO-ARCETRI WORKSHOP "Chemical Abundances and Mixing in Stars in the Milky Way and its Satellites"*: Ed. S. Randich, L. Pasquini / Netherlands: Springer, p. 375.
8. B.E.J.Pagel: 2000, *Phys. Rep.*, **333–334**, 433.
9. A.Coc, Elisabeth Vangioni: 2010, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **202**, 012001, p.1.
10. Y.I.Izotov, T.X.Thuan: 2004, *Astrophys. J.*, **602**, 200.