

УДК 523.985

Содержание лития в солнечных пятнах по наблюдениям 2015 года

Э.А. Барановский, В.П. Таращук

ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409
edward@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 2 ноября 2015 г.

Аннотация. Получены спектры солнечных пятен в областях линий Li I 6708 Å и некоторых линий Fe I и Ca I. Наблюдения проводились с ПЗС-камерой в июле и августе 2015 г. на телескопе БСТ-2 Крымской астрофизической обсерватории. Были рассчитаны модели пятен по наблюдаемым профилям линий Fe I, Ca I. По моделям пятен и наблюдаемым профилям линии Li I 6708 Å определена величина содержания лития. Средний результат для пятен 22.07.2015 и 26.08.2015: $\log A(\text{Li}) = 1.00$ и 1.17 (в шкале $\log A(\text{H}) = 12.0$).

LITHIUM ABUNDANCE DETERMINATION IN SUNSPOTS BASED ON OBSERVATIONS OF 2015, by E.A. Baranovsky, V.P. Taraschuk. The sunspot spectra in the region of the lithium Li I 6708 Å line and some Fe I and Ca I lines have been obtained. The observations were carried out with CCD-camera in July and August 2015 at the telescope BST-2 of the Crimean Astrophysical Observatory. The sunspot models were calculated using the observed profiles of Fe I and Ca I lines. The lithium abundance was obtained using the calculated sunspot models and observed Li I 6708 Å line profiles. The mean value of the lithium abundance for the sunspots of 22.07.15 and 26.08.15 is $\log A(\text{Li}) = 1.00$ and 1.17 (in the scale $\log A(\text{H}) = 12.0$).

Ключевые слова: Солнце, спектры, модели, литий

1 Введение

Величины содержания различных элементов в атмосферах звезд используются при изучении эволюции звезд и химической эволюции Галактики. При этом литий играет очень существенную роль.

Литий разрушается при достаточно низких температурах – около 2.6 млн град., поэтому величина содержания лития очень чувствительна к различным физическим условиям в звезде и дает возможность уточнять строение атмосфер, залегание конвективной зоны, а также пути эволюции звезд.

Проблема лития существует и для Солнца. Величина содержания лития на Солнце на два порядка меньше величины содержания в космосе, например, в метеоритах. Такое низкое содержание не объясняется современными моделями строения внутренних областей Солнца. Температура в конвективной зоне недостаточно высокая для выгорания лития. По-видимому, существуют какие-то неизвестные процессы, вызывающие уменьшение количества лития.

Содержание лития обычно определяется по наблюдениям в области линии 6707.8 Å. В спектре Солнца для невозмущенных областей линия 6707.8 Å очень слабая, поэтому для определе-

ния содержания лития на Солнце обычно используются спектры солнечных пятен. Вследствие низкой температуры в тени пятна степень ионизации лития уменьшается, и интенсивность линии 6707.8 \AA существенно увеличивается.

Определение содержания лития по спектрам солнечных пятен сделано в работах разных авторов, начиная с 1956 года (около 10 определений): Шмаль, Шрётер (1965); Виер и др. (1968); Трауб, Рослер (1971); Энгвольд и др. (1970); Ритценхоф и др. (1997); Барановский, Таращук (2008, 2012); Барановский и др. (2012, 2013).

Все определения сделаны по наблюдениям линии $\text{Li I } 6708 \text{ \AA}$ в ЛТР-приближении. Даты наблюдений спектров пятен относятся к разным фазам солнечного цикла. Оказалось, что самые большие значения содержания Li получены вблизи минимумов циклов, а малые значения – вблизи максимумов.

На рис. 1 показана зависимость величины содержания лития от интервала времени между моментом наблюдения и моментом ближайшего максимума.

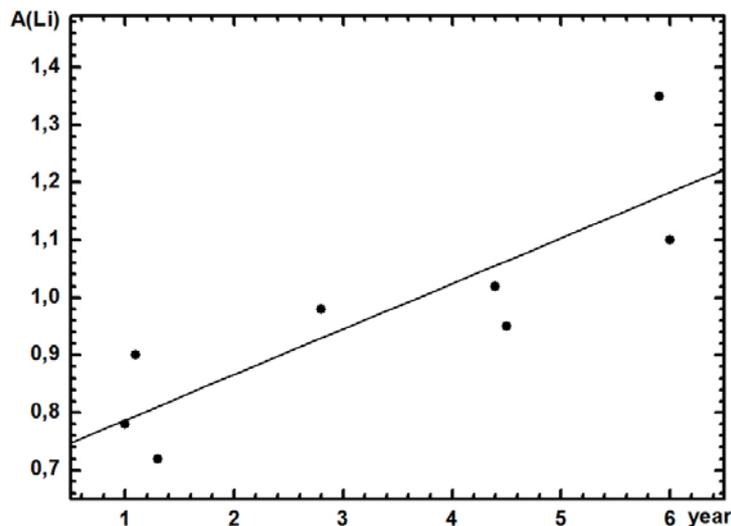


Рис. 1. Величина содержания лития в разные годы наблюдений. По оси абсцисс – интервал времени между моментом наблюдения и моментом ближайшего максимума. Наблюдения разных авторов, 1956–2011 годы

2 Наблюдения и вычисления

Для проверки реальности обнаруженной закономерности мы продолжали мониторинг наблюдений спектров солнечных пятен в области линии лития 6708 \AA . Здесь мы представляем результаты расчетов по наблюдениям в июле и августе 2015 года. Были получены спектры в области линии 6707.8 \AA для двух пятен 22 июля и для двух пятен – 26 августа. Наблюдения проведены с ПЗС-камерой на телескопе БСТ-2 НИИ “КрАО”. Размеры пятен 22 июля – $10''$ и $12''$, а пятен 26 августа – $22''$ и $25''$. Напряженности измеренных магнитных полей соответственно равны 1200 Гс , 1800 Гс , 2800 Гс и 3100 Гс .

Для каждого пятна были обработаны несколько спектров, полученных с интервалом в несколько минут. Были измерены эквивалентные ширины линий железа и кальция, по которым рассчитывались модели пятен. Далее с помощью моделей пятен рассчитывались эквивалентные ширины линии лития 6708 \AA и сравнивались с наблюдаемыми эквивалентными ширинами этой линии. Из такого сравнения мы получаем величину содержания лития, которая дает наилучшее

Содержание лития в солнечных пятнах...

согласие вычисленных и наблюдаемых эквивалентных ширин. Эта величина и принимается за искомую величину содержания лития. Вычисления сделаны по программе, описанной в (Барановский, 1993).

Результаты определения величины содержания Li по отдельным спектрам усреднялись, окончательный результат $\log A(\text{Li}) = 1.00$ и 1.17 соответственно для пятен 22.07.2015 и 26.08.2015.

3 Обсуждение

Сравнение всех результатов разных лет показано на рис. 2. Здесь по оси абсцисс – числа Вольфа во время наблюдений спектров, по оси ординат – величина содержания лития.

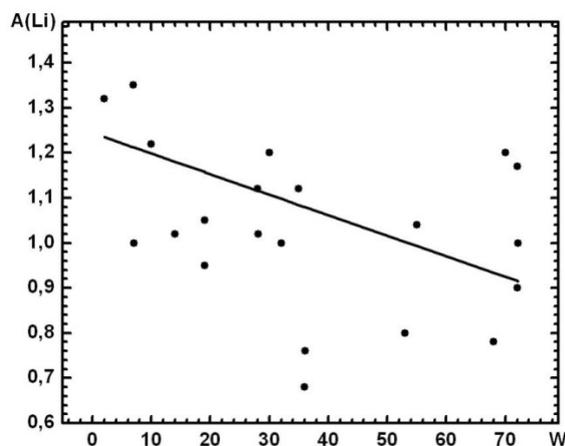


Рис. 2. Зависимость величины содержания лития от уровня солнечной активности (W)

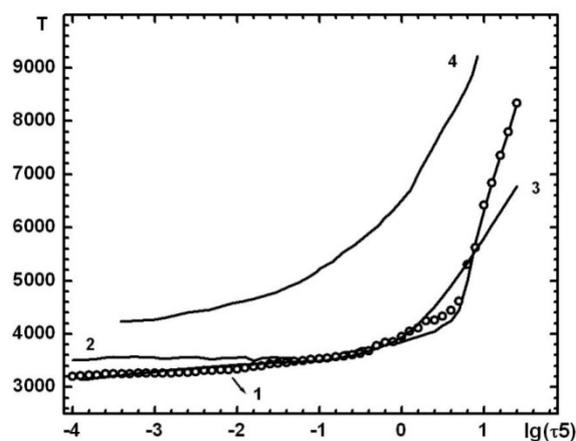


Рис. 3. Температура в моделях пятен, 4 – невозмущенная, 3 – модель Колладоса

Мы видим, что отмеченная вначале тенденция в поведении лития сохраняется – в периоды большей активности пятнообразования содержание лития меньше.

При определении содержания лития по спектрам солнечных пятен для каждого пятна делается расчет модели. Модели рассчитывались по линиям железа и кальция, расположенным вблизи линии лития 6708 \AA . Результат расчета моделей зависит от принятой величины рассеянного света в пятне, который входит в расчеты как свободный параметр. Приблизительно рассеянный свет оценивался по снимкам края солнечного диска.

Некоторые из полученных моделей пятен показаны на рис. 3 вместе с моделью Колладоса (Колладос и др., 1994). Отличие наших моделей от модели Колладоса проявляется в основном в нижней фотосфере. Величина рассеянного света составляла 15–20 %. Плотность в наших моделях мало отличается от плотности невозмущенной фотосферы, но меньше плотности в модели Колладоса.

4 Заключение

В 2015 году получены наблюдения спектров четырех солнечных пятен в области линии лития 6708 \AA . Для определения величины содержания лития обработаны спектры пятен – определены эквивалентные ширины линий лития 6708 \AA , кальция $\text{Ca I } 6717 \text{ \AA}$ и железа $\text{Fe I } 6703 \text{ \AA}$, $\text{Fe I } 6710 \text{ \AA}$. По линиям кальция и железа рассчитаны модели пятен. С помощью моделей пятен

и наблюдаемых эквивалентных ширин линии лития рассчитаны величины содержания лития. Эти величины составляют $\log A(\text{Li}) = 1.00$ и 1.17 соответственно для пятен 22.07.2015 и 26.08.2015.

Полученные величины вместе с результатами прошлых лет мы использовали для оценки возможной зависимости величины содержания от уровня солнечной активности. Полученная зависимость между величинами содержания и числами Вольфа не противоречит отмеченной ранее закономерности – величины содержания меньше для периодов большей активности.

Рассчитанные модели пятен близки к модели Колладоса по величине температуры, но отличаются по градиенту температуры и по величине плотности.

Литература

- Барановский (Baranovsky E.A.) // *Contr. Astron. Obs. Scalnate Pleso*. 1993. V. 23. P. 107.
- Барановский Э.А., Тарашук В.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2008. Т. 104. № 1. С. 30.
- Барановский Э.А., Тарашук В.П. // *Кинем. и физ. небесн. тел.* 2012. Т. 28. № 5. С. 50.
- Барановский Э.А., Мусорина С.А., Тарашук В.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2012. Т. 108. № 1. С. 26.
- Барановский Э.А., Мусорина С.А., Тарашук В.П. // *Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв.* 2013. Т. 109. № 1. С. 165.
- Виер и др. (Wier E., Stellmacher G., Schroter E.H.) // *Astrophys. Lett.* 1968. V. 1. P. 181.
- Колладос и др. (Collados M. et al.) // *Astron. Astrophys.* 1994. V. 291. P. 622.
- Ритценхоф и др. (Ritzenhoff S., Schroter E.H., Schmidt W.) // *Astron. Astrophys.* 1997. V. 328. P. 695.
- Трауб, Рослер (Traub W., Roesler F.L.) // *Astrophys. J.* 1971. V. 163. P. 629.
- Шмаль, Шрётер (Schmahl G., Schroter E.H.) // *Z. Astrophys.* 1965. V. 62. P. 143.
- Энгвольд и др. (Engvold O., Kjeldseth Moe O., Maltby P.) // *Astron. Astrophys.* 1970. V. 9. P. 79.