

УДК 524.3

Звезда HR 1512 типа “helium-weak”: химический состав и стратификация элементов в атмосфере

Л.С. Любимков, Т.М. Рачковская, С.И. Ростопчин, Д.Б. Поклад

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

В течение последних 10 лет в Крымской Астрофизической Обсерватории совместно с Техасским университетом (проф. Д.Л. Ламберт) проводилось исследование большой группы ранних и средних В-звезд, находящихся на эволюционной стадии главной последовательности (см., например, Любимков и др., настоящий том, с. 187). В частности, анализируя содержание гелия для 102 звезд, мы открыли две звезды довольно редкого типа “helium-weak” – HR1512 и HR 7651 (Любимков и др., 2004). Пекулярный химический состав таких объектов изучен все еще недостаточно, поэтому мы поставили задачу детально проанализировать содержание элементов в атмосфере одной из этих двух звезд – HR 1512, имеющей резкие линии в спектре вследствие малой скорости вращения.

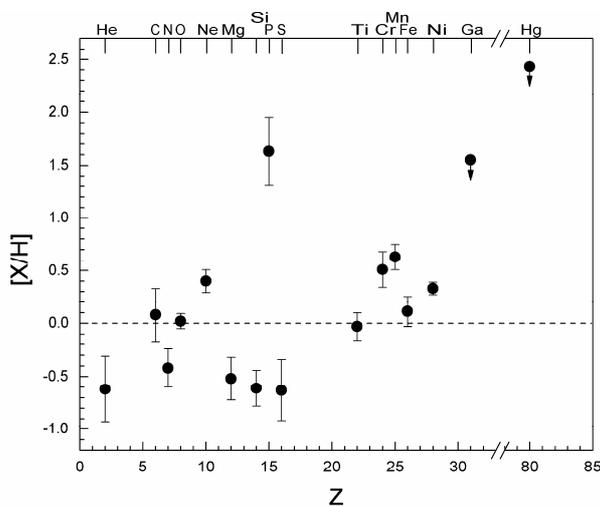


Рис. 1. Содержание элементов в атмосфере HR 1512 относительно Солнца (в логарифмической шкале). Штриховая (нулевая) линия соответствует Солнцу

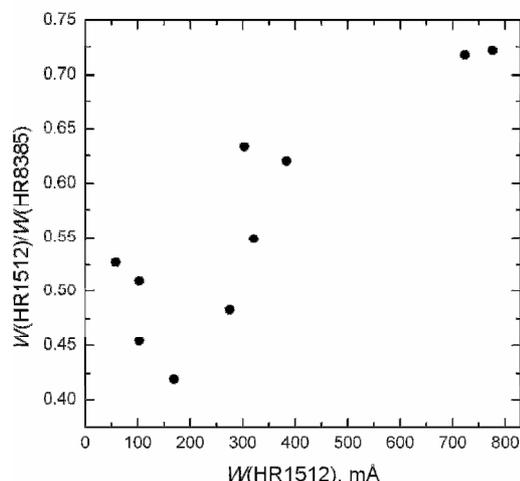


Рис. 2. Отношение эквивалентных ширин W линий HeI для звезды HR 1512 и нормальной В-звезды HR 8385 как функция $W(\text{HR } 1512)$

Как видно из рис. 1, в химическом составе HR 1512 был обнаружен ряд аномалий (Рачковская и др., 2006). Прежде всего, следует отметить заметный дефицит гелия (-0.6 dex), указывающий на принадлежность звезды к типу “helium-weak”, а также значительный избыток фосфора (1.6 dex), позволяющий отнести ее к подтипу PGa. Кроме избытка фосфора, мы нашли

для HR 1512 также избыток марганца 0.6 dex, хрома 0.5 dex и никеля 0.3 dex. Отметим также дефицит N, Mg, Si и S от -0.4 до -0.6 dex. В качестве второго приближения мы пересчитали модель атмосферы звезды с найденным аномальным химическим составом. Определив заново содержания элементов с этой моделью, мы не нашли заметных изменений: содержания изменились лишь на несколько сотых dex.

В отличие от нормальных В-звезд, линии HeI у HR 1512 показали большой разброс в содержании гелия. Чтобы проанализировать различия между линиями HeI более детально, мы сравнили наблюдаемые эквивалентные ширины W этих линий у HR 1512 и у нормальной звезды HR 8385 с очень близкими параметрами T_{eff} и $\log g$. На рис. 2 отношение $W(\text{HR 1512})/W(\text{HR 8385})$ представлено как функция эквивалентной ширины. Видим, что имеется явный тренд, который может указывать на стратификацию гелия. Действительно, поскольку чем сильнее линия, тем выше она образуется в атмосфере, из рис. 2 можно сделать вывод о росте содержания гелия с высотой в атмосфере HR 1512.

Как и содержание гелия, содержание фосфора показало большой разброс между разными линиями, который невозможно объяснить, например, ошибками в эквивалентных ширинах или в силах осцилляторов использованных линий PII. Мы получили ряд эмпирических зависимостей, свидетельствующих о росте содержания фосфора $\lg \epsilon(\text{P})$ с высотой в атмосфере HR 1512. Нами были найдены: а) корреляция $\lg \epsilon(\text{P})$ с наблюдаемой эквивалентной шириной W_{obs} линий PII; б) корреляция $\lg \epsilon(\text{P})$ с длиной волны линий; в) систематическое расхождение в значениях $\lg \epsilon(\text{P})$ между линиями с разными потенциалами возбуждения E_l , а именно: линиям с меньшими E_l соответствует в среднем более высокое содержание $\lg \epsilon(\text{P})$; г) четкая зависимость $\lg \epsilon(\text{P})$ от средней геометрической высоты образования H_f . Зависимость $\lg \epsilon(\text{P})$ от наблюдаемой эквивалентной ширины показана на рис. 3.

Кроме того, при предположении о постоянстве $\lg \epsilon(\text{P})$ в атмосфере звезды выявлено систематическое расхождение между вычисленными эквивалентными ширинами W_{th} и наблюдаемыми величинами W_{obs} .

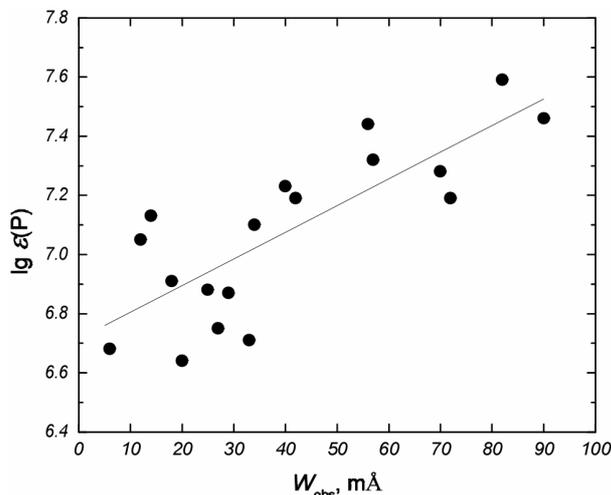


Рис. 3. Содержание фосфора как функция наблюдаемой эквивалентной ширины W_{obs}

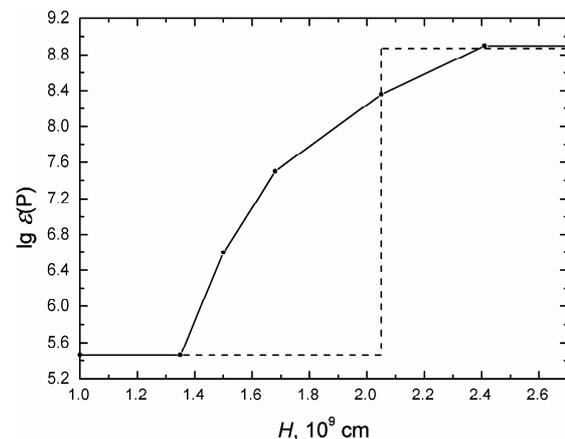


Рис. 4. Два возможных распределения $\lg \epsilon(\text{P})$ в атмосфере HR 1512

Методом подбора построено такое распределение содержания фосфора $\lg \epsilon(\text{P})$ по высоте H , при котором отсутствует систематическое различие между W_{th} и W_{obs} (сплошная линия на рис. 4). Однако оказалось, что к такому же хорошему согласию между W_{th} и W_{obs} приводит и более простое – ступенчатое – распределение $\lg \epsilon(\text{P})$ (штриховая линия на рис. 4). Оба

распределения имеют общие черты: 1) крутой подъем $\lg \varepsilon(\text{P})$ происходит в одной и той же области высот H , которой соответствуют оптические глубины $\tau_{5000} \approx 10^{-2} - 10^{-3}$, то есть стратификация фосфора имеет место в достаточно высоких слоях атмосферы HR 1512; 2) верхняя граница $\lg \varepsilon_{\text{up}}(\text{P}) = 8.9$ в обоих случаях одна и та же, то есть в области подъема происходит повышение $\lg \varepsilon(\text{P})$ на 3.4 dex.

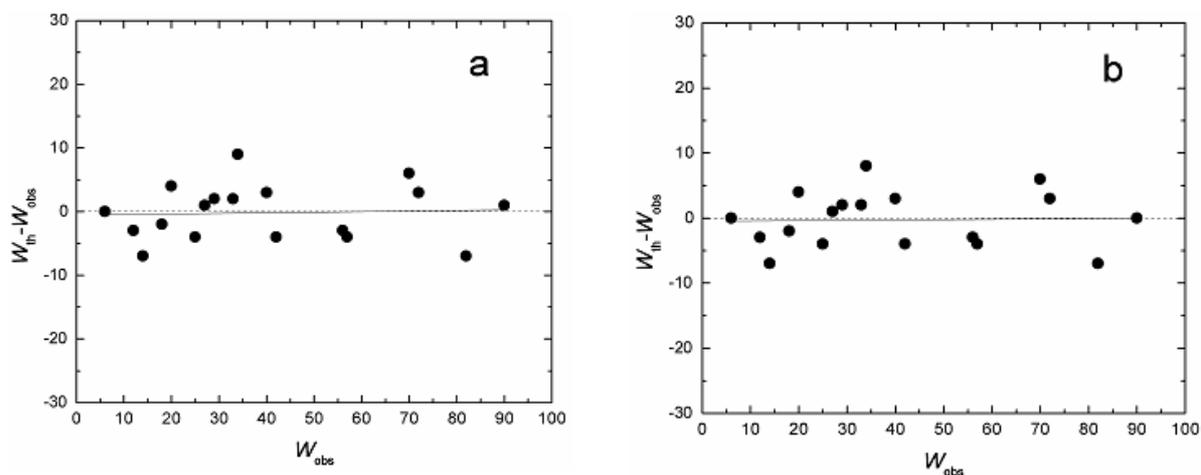


Рис. 5. Зависимость разности $W_{\text{th}} - W_{\text{obs}}$ от наблюдаемой эквивалентной ширины W_{obs} для двух распределений $\lg \varepsilon(\text{P})$, представленных на рис. 4: а) для сплошной ломаной линии; б) для ступенчатого распределения, показанного штриховой линией

Рис. 5 подтверждает, что для обоих распределений, показанных на рис. 4, нет никакого систематического различия между вычисленными эквивалентными ширинами W_{th} и наблюдаемыми ширинами W_{obs} .

Проблема стратификации у звезд типа “helium-weak” практически не исследована. Более того, фосфор как объект стратификации никогда не рассматривался (имеются в виду другие типы химически пекулярных звезд – Ar, Am и HgMn). Сравнение с имеющимися данными для звезд типов Ar, Am и HgMn показало, что у них наблюдаются близкие по величине крутые изменения в содержаниях $\lg \varepsilon$ некоторых элементов, причем приблизительно на тех же оптических глубинах или даже в более высоких слоях атмосферы.

Литература

- Любимков Л.С. и др. (Lyubimkov L.S., Rostopchin S.I., Lambert D.L.) // Monthly Notices of Roy. Astron. Soc. 2004. V. 351. P. 745.
 Рачковская Т.М., Любимков Л.С., Ростопчин С.И. // Астрон. журн. 2006. Т. 83. С. 146.