

# Спектроскопия В звезд в очень молодом рассеянном звездном скоплении IC 1805

А. Е. Тарасов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Р. Крым, п. Научный

По спектрам умеренного разрешения в области 4200–5200 Å, исследованы звезды спектральных классов поздние О - ранние В в очень молодом рассеянном звездном скоплении IC 1805. Температуры исследуемых звезд получены дифференциальным методом, в котором выбирались простые параметры для ряда спектральных линий, а затем сравнивались с аналогичными параметрами из обширной выборки О-В звезд. Для них по моделям атмосфер были получены аккуратные оценки  $T_{\text{eff}}$ . Применение данного метода для исследуемой выборки объектов позволило уверенно определить возраст скопления  $t = 2 \pm 0.5$  млн. лет и модуль расстояния до скопления  $(v - V)_0 = 11.5^m$ .

## Введение

Очень молодое рассеянное звездное скопление IC 1805 является частью OB ассоциации Cas OB6 рукава Персея и расположено внутри области H II W4. Скопление хорошо изучено фотометрически. В системе UVV оно исследовалось несколько раз, также выполнены исследования в среднеполосной Вильнюсской системе. Выполнены несколько спектроскопических исследований с низким разрешением, с целью спектральной классификации В звезд. Расстояние до скопления, полученное из спектроскопических наблюдений, оценено в 1.9-2.4 кпк. Исследование физических параметров В звезд немногочисленны. Возраст скопления IC 1805 определялся в работах, посвященных фотометрическим наблюдениям и составляет по различным оценкам 1- 6 млн. лет. Это означает, что только наиболее массивные О звезды покинули начальную Главную последовательность, остальные О и ранние В звезды расположены вблизи линии нулевого возраста, а менее массивные объекты еще не достигли ее и являются либо Ae/Be звездами Хербига, либо Т Тау объектами. Оной целью данной работы было аккуратное определение температур поздних О - ранних В звезд скопления и определение их положения на Главной последовательности и, следовательно, уточнения возраста скопления методом, отличным от фотометрического на основе спектральных наблюдений.

## Наблюдения

Все спектральные наблюдения OB-звезд скопления IC 1805 выполнены со спектрографом умеренного разрешения, установленным в фокусе Нэсмита 2.6-м телескопа ЗТШ КрАО. Спектры были получены в области длин волн 4200–5200 Å, с разрешением около 1.5 Å, и отношением сигнал/шум, как правило, лучше 100. Всего были получены спектры для 24 О и В-звезд скопления. Дополнительно, с теми же аппаратными установками были получены спектры более 30 В-звезд из списка Любимков и др. (2000, 2002), для которых с высокой точностью определены параметры их атмосфер. Данные спектры в дальнейшем были использованы при определении эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$  для В-звезд скопления.

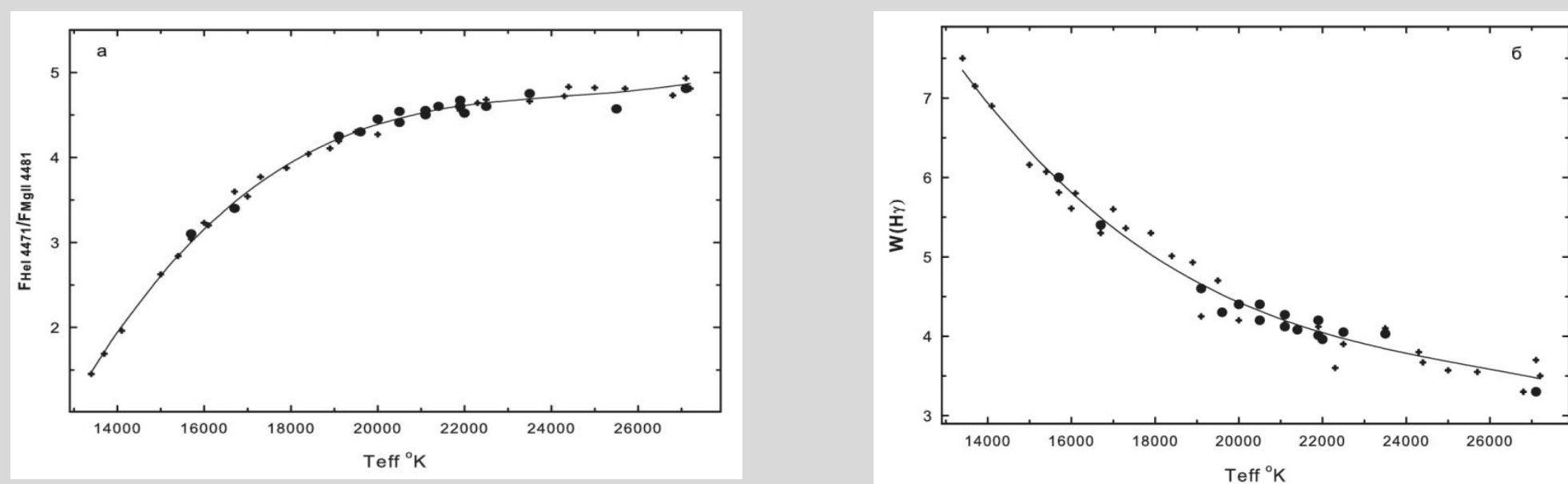


Рис. 1. Примеры зависимостей используемых для определения  $T_{\text{eff}}$  из наблюдаемых параметров спектральных линий,  $F(\text{HeI } 4471)/F(\text{MgII } 4481)$  (а) и  $W_{\lambda}(\text{H}_{\gamma})$  (б). Крестиками на рисунках отмечены параметры стандартных звезд из списка Любимков и др. (2000, 2002), полученные в данной работе с теми же аппаратными установками, как и для исследуемых объектов; непрерывная линия - полиномиальная зависимость, построенная по этим данным; заполненные кружки - найденные оценки температуры исследуемых звезд по совокупности нескольких критериев.

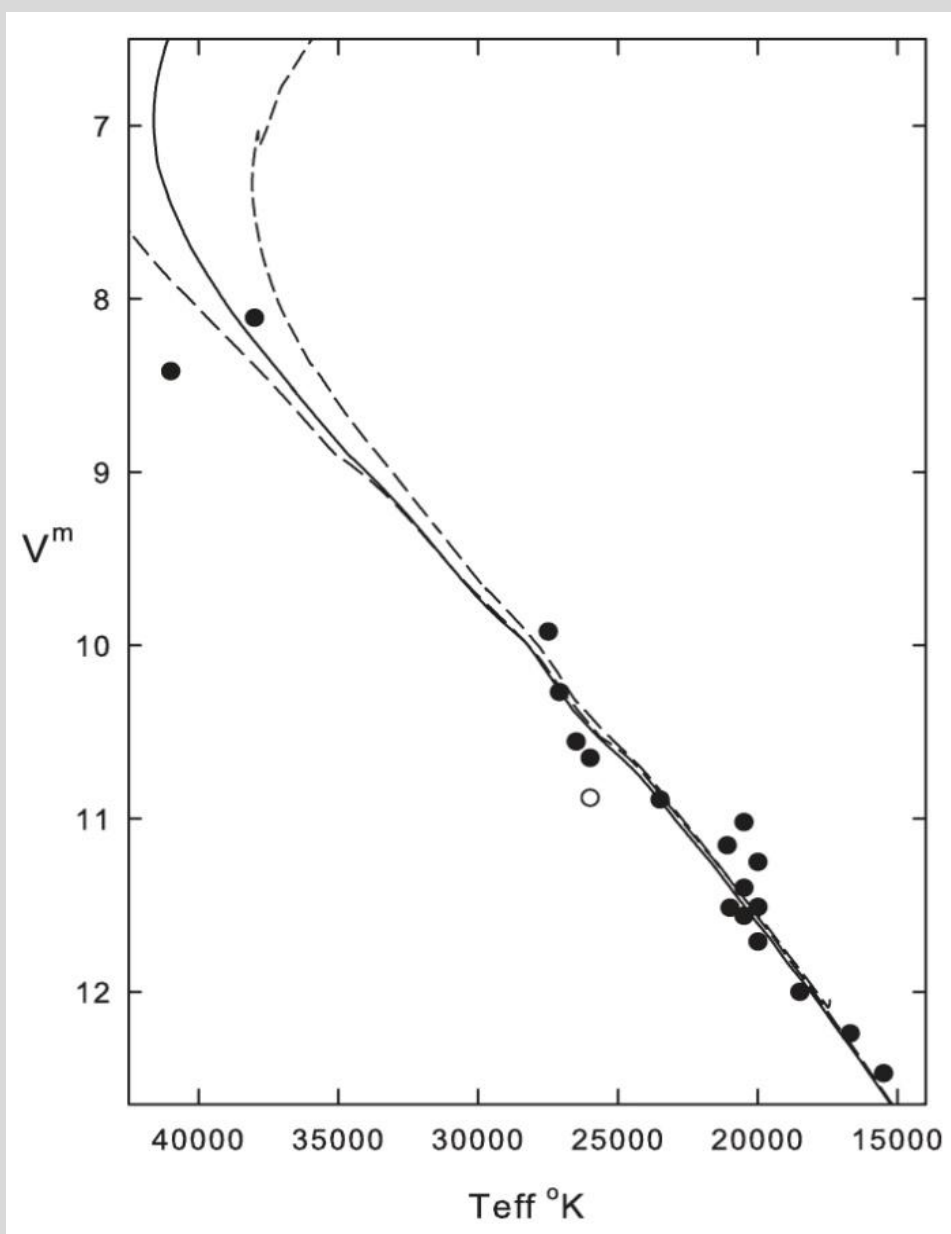


Рис. 2. Диаграмма  $T_{\text{eff}} - V_m$ , построенная по звездам скопления IC 1805. Кружки – OB-звезды; незаполненный кружок – Ве-звезда MWC 50. Непрерывная линия - изохрона, построенная для скопления с возрастом  $t = 2$  млн. лет, металличностью  $Z = 0.02$  и модулем расстояния  $(v - V)_0 = 11.5^m$ . Изохроны отмеченные пунктирными линиями соответствуют возрасту 1 и 3 млн. лет.

## Определение температур В звезд скопления

При определении эффективной температуры  $T_{\text{eff}}$  поздних О и В-звезд скопления был применен дифференциальный метод. Поскольку возраст скопления приблизительно известен и лежит, по разным оценкам, в пределах 1–6 млн лет, разумно предположить, что все В звезды спектральных классов В0–В6 являются нормальными карликами. Исходя из этого, нами получены спектры более 30 звезд из списка Любимков и др. (2000,2002), удовлетворяющие данному критерию, с теми же аппаратными установками спектрографа, которые использовались при наблюдениях звезд скопления.

Поскольку определение параметров атмосфер стандартных звезд выполнено очень аккуратно, были выбраны ряд простых критериев, позволяющих сравнить спектры звезды скопления и стандартных объектов. Проще всего, в нашем случае, оценить эффективные температуры звезд  $T_{\text{eff}}$  что дает возможность исключить цвет звезд (обычно В-В) при определении эволюционного статуса членов скопления. Другой важный параметр,  $\log g$ , напрямую связанный со светимостью звезды, более сложен в определении и по спектрам нашего качества менее предпочтителен определению блеска звезды.

Для определения температуры были выбраны следующие параметры спектров: отношение остаточных потоков линий  $F(\text{HeI } 4471)/F(\text{MgII } 4481)$ ; эквивалентные ширины линий  $W_{\lambda}$  у  $\text{H}_{\gamma}$  и  $\text{H}_{\beta}$ , линии металлов, несколько линий HeI и линия HeII 4686 как индикатор температуры наиболее горячих В и поздних О звезд.

Критерии, выбранные для определения  $T_{\text{eff}}$ , имеют различную чувствительность, в зависимости от температуры звезды. На рис. 1а и 1б приведены, в качестве примера, полученные зависимости для определения температуры по параметрам  $F(\text{HeI } 4471)/F(\text{MgII } 4481)$  и  $W_{\lambda}(\text{H}_{\gamma})$ . На рисунках крестиками отмечены стандартные звезды с известными температурами и измеренными по нашим спектрам параметрами. Непрерывная линия соответствует полученной полиномиальной зависимости, которая в дальнейшем использовалась для нахождения температуры звезды для каждого параметра. Заполненными кружками отмечены исследуемые объекты, чьи температуры были получены по совокупности критериев. Процедура определения  $T_{\text{eff}}$  обычно состояла из ее оценки по линиям HeI и HeII, отношения  $F(\text{HeI } 4471)/F(\text{MgII } 4481)$ , наличия линии HeII 4686 и ее интенсивности, интенсивности линий триплета SiIII и затем последовательно оценки потоков в линиях других металлов. Для каждого из измеренных параметров оценивался диапазон погрешностей, сильно зависящий от температуры рассматриваемого объекта. Финальное стандартное отклонение от среднего в измерении  $T_{\text{eff}}$  рассчитывалось исходя из совокупности погрешностей всех измеренных параметров.

Для каждого из выбранных критериев были получены зависимости их изменения с температурой, которые затем аппроксимировались полиномами. По совокупности перечисленных выше критериев, погрешности при определении  $T_{\text{eff}}$  для не эмиссионных OB-звезд не превышали 500°. Следует учесть, что погрешности в независимых определениях температуры каждой из стандартных звезд из списка Любимков и др. (2000, 2002) лежат в сопоставимых пределах.

## Возраст скопления IC 1805

Скопление достаточно удалено и расположено на краю внутренней стороны рукава Персея. В этом направлении расположено относительно немного звезд фона этого рукава, но присутствует заметное количество звезд рукава Ориона, что подтверждается детальными среднеполосными фотометрическими исследованиями в видимой и ближайшей инфракрасной областях (Страйжис и др., 2013). Тем не менее, расположение скопления внутри полости HII молекулярного облака W4 затрудняет определение принадлежности звезд к скоплению и, соответственно, нахождение его базовых параметров.

При определении возраста скопления нами использовались наблюдения в фильтре V, взятые из базы данных WEBDA, а также определенные нами значения  $T_{\text{eff}}$ . Межзвездное поглощение  $A(V)$  в направлении на скопление детально исследовано в работе Страйжис и др. (2013) и составляет около 2.5<sup>m</sup>. На рис. 2 изображены полученные результаты. Как следует из рисунка, нам удалось уверенно оценить возраст скопления, используя эффективную температуру, как независимый от фотометрических наблюдений параметр. Изохрона, приведенная на рисунке, построена по эволюционным моделям Брессан и др. (2012) для солнечной металличности. Наилучшее согласие наблюдаемых данных с теоретическими расчетами получено для возраста скопления  $t = 2.0 \pm 0.5$  млн. лет и модуля расстояния  $(v - V)_0 = 11.5^m$ . Последний параметр совпадает с оценкой Страйжис и др. (2013). Как видно из рисунка, все исследуемые объекты, поздние О - ранние В звезды, расположены вблизи начальной Главной последовательности. Более точной оценки возраста скопления препятствует точность в определении температур наиболее горячих звезд спектрального класса O4 HD 15570 и HD 15620. Оба объекта обладают peculiarными спектрами, поэтому определение их температур объективно затруднено.

Дополнительными аргументами в пользу верности найденного возраста скопления является отсутствие Ве звезд Хербига с температурами 15000 – 19000 °K. Для них характерен эмиссионный спектр, как минимум, в линиях HeI и значительные избытки цвета в инфракрасной области, вызванные пылевыми оболочками. Этот тип звезд присутствует в скоплении у звезд с существенно более низкими температурами и спектральным классом поздний В. Ве звезды Хербига в исследуемом нами интервале температур должны отсутствовать при возрасте скопления IC 1805 менее 1.5 млн. лет, что является нижней границей при определении возраста. На рис. 2 нижняя пунктирная изохрона построена для возраста 1 млн. лет, для которой наиболее холодные звезды нашей выборки должны быть Ве звездами Хербига. Верхняя граница возраста определяется менее уверенно и зависит в большей степени от точности определения возраста наиболее горячих О звезд скопления, но не может превышать 2.5 млн. лет. На рис. 2 верхняя пунктирная изохрона, построена для возраста скопления 3 млн. лет.

Найденный нами возраст скопления  $t = 2.0 \pm 0.5$  хорошо согласуется с более ранними оценками. Так Пэнвар и др. (2017) исследуя наименее массивные звезды в области скопления в оптическом, инфракрасном и рентгеновском диапазонах оценивают возраст в 2.5 млн. лет. Результатом глубокого фотометрического обзора в видимой и умеренной инфракрасных областях в области W4, выполненные Сунг и др. (2017), как для массивных, так и для маломассивных звезд, стала оценка возраста 3.5 млн. лет и модулем расстояния  $(m - M)_0 = 11.9^m \pm 0.2^m$ , что не противоречит нашим оценкам этих величин.

## Обсуждение результатов и заключение.

Рассеянное звездное скопление IC 1805, несмотря на относительно высокую яркость горячих звезд, остается все еще недостаточно исследованным. Поскольку скопление входит в редкую группу экстремально молодых звездных группировок, точное определение его возраста позволяет исследовать начальную эволюцию и физические параметры ранних В звезд при их выходе на Главную последовательность, исследовать эволюцию массивных О звезд сразу после ГП, определить физические параметры многочисленных поздних Ве - Ae звезд Хербига, Т Тау и др. Возраст скопления, до настоящего времени, определялся только фотометрическими методами. В этой работе он получен на основе спектральных наблюдений с умеренным разрешением для 24 О-В звезд. Для определения эффективной температуры данных объектов применен метод, основанный на точном определении физических параметров атмосфер стандартных звезд и построении простых зависимостей изменения ряда спектроскопических параметров с изменением их температуры в предположении, что параметр  $\log g$  известен и примерно соответствует возрасту, определенному из фотометрических наблюдений. Данная методика позволила с хорошей точностью (~500 °K) определить температуры В-звезд и оценить с более низкой точностью (~2000 °K) температуру Ве-звезды. Подобная методика в определении температур звезд с приблизительно известным эволюционным статусом оказалась простой и пригодной для массового определения температуры большого количества звезд при незначительном увеличении погрешностей в ее определении. Найденные значения  $T_{\text{eff}}$  для В звезд скопления позволили с высокой точностью определить возраст скопления  $t = 2.0 \pm 0.5$  млн. лет и модуль расстояния  $(v - V)_0 = 11.5^m$ . Последняя оценка совпадает с полученной ранее по результатам среднеполосной фотометрии (Страйжис и др., 2013).

## Литература

- Любимков и др. (S.L.Lyubimkov, D.L.Lambert, T.M.Rachkovskaya, S.I.Rostopchin, A.E.Tarasov, D.B.Poklad, V.M.Larionov, and L.V.Larionova), MNRAS **316**, 19 (2000).
- Любимков и др. (S.L.Lyubimkov, T.M.Rachkovskaya, S.I.Rostopchin, and D.L.Lambert), MNRAS **333**, 9 (2002).
- Страйжис и др. (V.Strajzys, R.P.Boyle, R.Janusz, V.Laugalys, A.Kazlauskas), Astron. Astrophys. **554**, A3 (2013).
- Пэнвар и др. (N.Panwar, M.R.Samal, A.K.Panday et al.), MNRAS **468**, 2684 (2017).
- Сунг и др. (H.Sung, M.S.Bessel, M.-Y.Chun et al.), Astrophys. J. Suppl. Ser. **230**, 3 (2017).