

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНО-ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ α^2 CVn ПО СПЕКТРОГРАММАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ВОЗБУЖДЕНИЯ

Р. Н. Кумайгородская

Обычным методом по линиям различных элементов определены температуры возбуждения T_{ex} в атмосфере α^2 CVn. Анализ зависимостей ($T_{ex}, \bar{\epsilon}_i$), ($v_t, \bar{\epsilon}_i$) и (v_t, T_{ex}) для линий редких земель, элементов «железного пика» и кремния, с учетом данных о распределении этих элементов по поверхности и степени их концентрации к магнитным полюсам звезды, приводит к заключению об изменении температур по поверхности (к магнитным полюсам они возрастают); это в какой-то мере объясняет и увеличение микротурбулентных скоростей к полюсам [1].

Using lines of different elements the excitation temperatures T_{ex} in the atmosphere of α^2 CVn are determined by the ordinary technique. Analysis of the relations ($T_{ex}, \bar{\epsilon}_i$), ($v_t, \bar{\epsilon}_i$) and (v_t, T_{ex}) for the lines of the rare earth elements, «iron peak» elements and silicon taking into account the data on their distribution over the surface and a degree of concentration towards the magnetic poles of the star leads to the conclusion that the temperatures change over the surface (they increase towards the magnetic poles); this to a certain extent accounts for the increase in the microturbulent velocity towards the poles [1].

Как известно, изменения, происходящие в спектрах магнитных и пеккулярных звезд, наилучшим образом можно объяснить в рамках гипотезы наклонного ротатора. Ввиду «пятнистого» распределения элементов по поверхности магнитных звезд при исследовании их атмосфер необходимо критически относиться к использованию методов определения химического состава и других параметров атмосфер, которые развиты для нормальных звезд. Это видно, в частности, на примере определения микротурбулентных скоростей для α^2 CVn [1]: учет «эффекта пятнистости» увеличивает значения скоростей, находимых по линиям различных элементов, в несколько раз. В то же время для определения температур возбуждения (T_{ex}) в атмосферах магнитно-переменных звезд можно воспользоваться обычным методом кривых роста: «пятнистое» распределение элементов по поверхности на величины T_{ex} не влияет (форма кривой роста не изменяется). Правда, мы и здесь косвенным образом учитываем «пятнистость», так как определяем T_{ex} по линиям различных элементов для тех фаз, которые наиболее благоприятны для видимости соответствующих пятен. Например, температуру возбуждения по линиям элементов «железного пика» мы определяем для фазы 0.27 (соответствующие линии возникают в основном в пятне (a)) и для фазы 0.81 (линии возникают в пятне (d)). В других фазах линии элементов «железного пика», наблюдающиеся от двух или даже трех пятен одновременно, сильно блендируются. В случае линий редких земель и кремния мы отдавали предпочтение, с учетом качества спектрограмм, фазам максимумов интенсивностей,

определяя по возможности T_{ex} также и для других фаз, так как эти элементы занимают значительные части поверхности звезды [2]. Новые данные о силах осцилляторов (хотя для некоторых элементов их все еще недостаточно) позволяют строить отдельные кривые роста для многих элементов и таким образом более детально изучать атмосферу звезды. Температуру возбуждения можно рассматривать как среднюю температуру атмосферы (точнее, как температуру эффективного слоя, в котором образуются линии данного элемента в данной стадии ионизации).

Для α^2 CVn температуры возбуждения T_{ex} были определены обычным методом для некоторых фаз по линиям элементов «железного пика» [Fe (I, II), Cr (I, II), Ti (I, II)], редкоземельной группы [Eu II, Ce II, Gd II, Pr II, Sm II] и по линиям кремния [Si II] (см. таблицу). При этом использовались те же кривые роста, что и при определении микротурбулентных скоростей [1] (свыше 20 кривых роста, построенных по 600 линиям). Значения T_{ex} , полученные для различных элементов для определенных фаз, различаются. Точность их определения различна для разных элементов и зависит от числа использованных линий, надежности сил осцилляторов и других причин. В среднем ошибка равна $\pm 700^\circ$, а у некоторых элементов различия T_{ex} для двух фаз иногда достигают 3500° (например, у Gd II для фаз 0.81 и 0.91).

| Элемент | A | v_t , км/сек. p 0.81 | $\bar{\epsilon}_i$, эВ p 0.81 | T_{ex}^0 | | | | |
|---------|----|---------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | p 0.01 | p 0.27 | p 0.38 | p 0.81 | p 0.91 |
| Si II | 14 | 10.2 | 8.32 | — | (32000) | 17350 | 19700 | 16200 |
| T I | 22 | — | 1.60 | — | — | — | (20300) | — |
| Ti II | 22 | 2.0 | 1.20 | — | 3050 | — | 3480 | — |
| Cr I | 24 | 2.3 | 2.93 | — | — | — | 7350 | — |
| Cr II | 24 | 3.3 | 4.60 | — | 8250 | — | 6800 | — |
| Fe I | 26 | 3.9 | 1.85 | — | 9870 | — | 10960 | — |
| Fe II | 26 | 2.7 | 5.00 | — | 9700 | — | 8630 | — |
| Ce II | 58 | 4.0 | 0.65 | — | — | — | 5660 | 3550 |
| Pr II | 59 | 1.3 | 0.25 | — | — | — | 1590 | — |
| Sm II | 62 | 12.5 | 0.25 | — | — | — | (1560) | — |
| Eu II | 63 | 13.4 | 1.70 | — | — | — | 13400 | — |
| Gd II | 64 | 4.6 | 1.30 | 7650 | (10400) | — | 11500 | 7925 |

Для фазы 0.81, где имеется больше всего определений T_{ex} , были построены зависимости между T_{ex} и средними потенциалами $\bar{\epsilon}_i$ тех линий, по которым строились бальмановские прямые (рис. 1, a). Оказалось, что ионы элементов «железного пика» и редкоземельных образуют две зависимости с сильно различающимся наклоном. В случае элементов «железного пика» была построена зависимость (T_{ex} , $\bar{\epsilon}_i$) также для фазы 0.27 (пятно a). Зависимости для двух пятен (a и d) элементов «железного пика» различаются мало.

Итак, температуры возбуждения T_{ex} по линиям ионов растут с потенциалом возбуждения этих линий. В случае нормальных звезд эта зависимость объясняется тем, что эффективные глубины образования линий с различными потенциалами возбуждения в общем различаются. Поскольку для редкоземельных элементов, линии которых в спектрах нормальных звезд практически не видны, выявляется подобная же зависимость между T_{ex} и $\bar{\epsilon}_i$, то и для них можно сделать предположение об образовании линий их ионов на различной эффективной глубине. Однако у редкоземельных элементов по сравнению с элементами «железного пика» при меньшем диапазоне потенциалов возбуждения наблюдается большой

диапазон температур (от 1500° до $13\,000^\circ$), т. е. большой диапазон эффективных глубин их образования. Кроме того, как следует из [1], степень концентрации разных редкоземельных элементов к отрицательному магнитному полюсу не одинакова (что может быть следствием влияния магнитного поля). Те редкоземельные элементы, по линиям которых температура T_{ex} больше (Eu II, Gd II), показывают и большую степень концентрации к отрицательному магнитному полюсу по сравнению, например, с Ce II и Pr II. Таким образом, предположительно намечается корреляция между эффективной оптической глубиной образования линий данного иона редкоземельного элемента и степенью концентрации последнего к магнитному полюсу. Редкоземельные элементы, которые сильнее концентрируются к полюсу, могут образовываться в более глубоких слоях атмосферы (во всяком случае, при большей температуре).

Возможно также, что температуры возбуждения, определенные по линиям редкоземельных элементов (с большими потенциалами возбуждения), получаются более высокими не только потому, что такие линии образуются глубже, но еще и потому, что температура на поверхности звезды возрастает к полюсу. Те редкоземельные элементы, которые сильнее концентрируются к полюсу, может быть, в основном именно по этой причине показывают большее значение T_{ex} . Поскольку при большей температуре атмосфера становится прозрачнее (как в непрерывном спектре, так и в линиях рассматриваемых элементов), то становится более понятным, почему для линий редкоземельных элементов при малом диапазоне $\bar{\epsilon}_i$ интервал эффективных глубин образования получается больше, чем аналогичный интервал для линий элементов «железного пика», у которых диапазон $\bar{\epsilon}_i$ шире. Возрастанию температуры от экватора к полюсу по сравнению с возрастанием ее с глубиной в атмосфере можно здесь отдать предпочтение, так как на примере Fe II видно, что несмотря на то что линии этого элемента возникают на больших эффективных глубинах (большие $\bar{\epsilon}_i$), чем, например, линии Eu II, температуры T_{ex} по ним меньше, что может быть следствием расположения пятен элементов «железного пика» вдоль магнитного экватора, где температура может быть ниже.

Хотя для магнитных звезд соотношение между температурами T_{ex} по линиям Fe II, Cr II и Ti II по данным работ [3], [4] примерно такое же, как и у нормальных звезд [5], не исключено, что в случае α^2 CVn различие между температурами, найденными по линиям этих элементов, частично связано с градиентом температуры по поверхности звезды, о чем свидетельствует анализ относительного расположения центров пятен, образуемых Fe II, Cr II и Ti II [2].

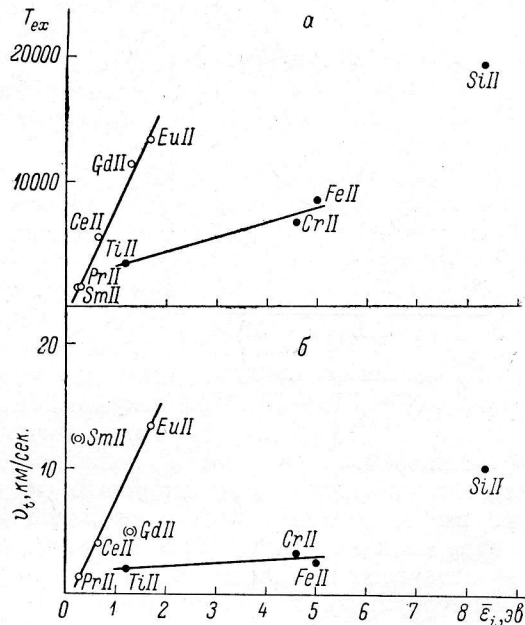


Рис. 1. Зависимость по линиям различных элементов для фазы 0.81.

a — между T_{ex} и $\bar{\epsilon}_i$, б — между v_i и $\bar{\epsilon}_i$.

Значения T_{ex} , найденные по линиям Si II для нормальных звезд, всегда больше значений T_{ex} , найденных по линиям элементов «железного пика», так как линии Si II в среднем образуются глубже в атмосфере. Для α^2 CVn T_{ex} по линиям Si II также больше, чем по линиям элементов «железного пика». Однако отношение температур T_{ex} по Si II и Fe II в случае α^2 CVn по сравнению с нормальными звездами иное (2.28 вместо 1.27). Это можно объяснить, если предположить, что температура атмосферы возрастает от экватора к положительному магнитному полюсу,

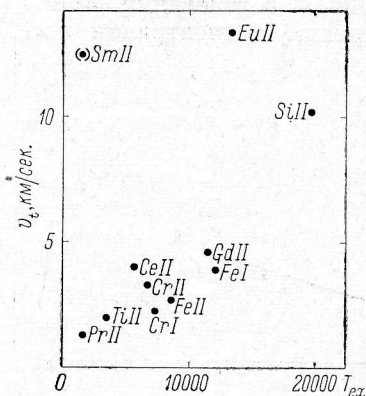


Рис. 2. Зависимость между v_t и T_{ex} для исследуемых элементов.

около которого концентрируется кремний. К выводу об изменении T_{ex} по поверхности (возрастании ее к магнитным полюсам звезды) можно прийти и на основании рассмотрения корреляций между микротурбулентными скоростями v_t , определенными ранее с учетом влияния «эффекта пятнистости», и $\bar{\epsilon}_i$, а также между величинами v_t и T_{ex} (рис. 1, б и 2). Зависимости $(v_t, \bar{\epsilon}_i)$ и $(T_{\text{ex}}, \bar{\epsilon}_i)$ для элементов «железного пика» и редкоземельных элементов оказались подобными (с ростом $\bar{\epsilon}_i$ увеличиваются v_t). Но микротурбулентные скорости, как следует из [1], увеличиваются и к магнитным полюсам. Из рассмотрения рис. 2 видно, что большие значения v_t соответствуют большим значениям температур T_{ex} , что подтверждает вывод о возрастании температуры к магнитным полюсам. При этом в какой-то степени находит объяснение и рост микротурбулентных скоростей к полюсам: здесь, где температура выше, можно ожидать увеличения прозрачности атмосферы как в непрерывном спектре, так и в линиях; последние формируются на большем интервале глубин, т. е. на кривую роста, по которой определяются микротурбулентные скорости, влияют большие турбулентные элементы или вихри. Это — лишь одно из возможных объяснений роста турбулентных скоростей к магнитным полюсам. Полученные изменения температур T_{ex} по поверхности вращающейся звезды α^2 CVn должны находиться во взаимосвязи с изменениями таких величин, как U , B и V с фазой, и интерпретироваться с учетом того или иного из рассмотренных в [6] механизмов, в зависимости от типа пекулярности звезды. Звезда α^2 CVn является кремниевой (если ее рассматривать со стороны положительного магнитного полюса) и в то же время европиевохромовой (с экватора и отрицательного магнитного полюса) звездой. Поэтому в зависимости от фазы для интерпретации ее спектральных особенностей и изменения блеска и цвета, следует применять разные механизмы. Имеются в виду объяснения температурных изменений и изменений структуры атмосферы за счет эффектов ускорения силы тяжести, эффекта обратного нагрева, покровного эффекта и т. д.

Литература

1. И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 5, 37, 1973.
2. Р. Н. Кумайгородская, И. М. Копылов, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 4, 50, 1972.
3. Ю. В. Глаголевский, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 3, 62, 1971.
4. Ю. В. Глаголевский, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 2, 3, 1970.
5. Ю. В. Глаголевский, Н. М. Чупакова, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 3, 70, 1971.
6. G. W. Preston, *Publ. astr. Soc. Pacific*, 83, 571, 1971.