

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 7

НОЯБРЬ, 1971

ВЫПУСК 4

КОНВЕКЦИЯ В ОБОЛОЧКАХ А-Ф ЗВЕЗД ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Э. ЭРГМА

Поступила 13 апреля 1971

Показано, что в оболочках А-Ф звезд вычисленные конвективные скорости существенно зависят от предположений относительно длины перемешивания:

$$I \quad l = \pi H_p; \quad II \quad l = H_p \text{ для } |H_p| < |r - r_e| \text{ и } l = |r - r_e| \text{ для } H_p > |r - r_e|;$$

$$III \quad l = \pi H_p.$$

В рамках теории длины перемешивания нельзя дать однозначного решения для объяснения некоторых физических процессов в звездных оболочках (генерации звуковых волн, магнитного поля и т. д.). Показано, что вариант III несостоятелен в рамках теории длины перемешивания, так как в этом случае в большей части оболочки $v_{\text{сип}} > v_s$.

У звезд главной последовательности с $T_{\text{eff}} < 10^4$ К возникает подповерхностная конвективная зона как следствие неполной ионизации водорода. Эта конвективная зона слабо развита в звездах А и ранних F и обычно при расчетах звездных моделей не влияет на внутреннюю структуру звезды. Только около границы Хаяши, особенно у звезд-сверхгигантов [1], различные предположения о самой длине перемешивания существенно влияют на структуру и эволюцию звезд. Важное значение длина перемешивания имеет для расчета моделей звезд переходного типа на главной последовательности (переход от неразвитой конвективной зоны к развитой). Например, для $M = 1.25 M_{\odot}$ было показано [2], что при различных предположениях можно получить и хорошо развитую конвективную зону, и слабо развитую.

В настоящей работе нам хотелось обратить внимание на объяснение некоторых физических процессов, происходящих в оболочках А-F звезд главной последовательности.

При расчетах конвективных зон звезд обычно принимают метод Бэм-Витензе [3], где рассматриваемый конвективный элемент, пройдя путь $l_t = \alpha H_p$ (I), где H_p — высота однородной атмосферы по давлению и α — коэффициент порядка единицы (обычно в расчетах принимают следующие значения: $\alpha = 0.5, 1, 1.5, 2.0$), растворяется в окружающей среде. Для такого конвективного элемента решается система из пяти уравнений, в результате чего определяются градиенты, поток конвективной энергии и т. д. Метод счета для этого случая дан в работе [4].

Впервые Бэм и Штюкель [5] отметили, что у верхней и нижней границ конвективной зоны Солнца существует область, где $H_p > |r - r_e|$ (r_e — ближайшая граница конвективной зоны). Согласно их гипотезе, примем в качестве второго варианта следующее модифицированное значение для длины перемешивания:

$$\begin{aligned} l &= H_p, & \text{если } H_p \leq |r - r_e|, \\ l &= |r - r_e|, & \text{если } H_p > |r - r_e|. \end{aligned} \quad (\text{II})$$

Недавно Ж. Латур [6] исследовал возникновение инверсии плотности в оболочках А-звезд. Он рассчитал конвективные зоны таких звезд по вариантам (I) и (II). Нами [7] были рассчитаны модели оболочек поздних А и ранних F-звезд. Мы рассматривали кроме вариантов (I) и (II) еще случай, когда $l_t = \alpha H_p$ (III), где H_p — шкала высоты по плотности, так как некоторые авторы [8] используют при расчетах шкалу высоты по плотности.

Мы не будем касаться вопроса о структуре оболочки таких звезд, так как для вариантов (I) и (II) этот вопрос очень хорошо исследован в работе [6]. Можно добавить только, что вариант III отличается от остальных вариантов тем, что у этой модели в оболочке нет инверсии плотности. Структура оболочек на плоскости $\lg p - \lg T$ и поведение градиентов ∇_{con} и ∇_r для всех вариантов даны на рис. 1 и 2.

Если структура конвективной зоны таких звезд (варианты I и II) мало меняется в зависимости от различных предположений о длине перемешивания, то величина конвективных скоростей v_{con} (и конвективный поток энергии) очень чувствительна к этому изменению. На рис. 2 даны величины конвективных скоростей для модели с $g = 1.1 \cdot 10^4$, $T_{\text{eff}} \approx 8200^\circ$ ($M/M_\odot = 2.25$). Максимальные величины конвективных скоростей приведены в табл. 1 и 2.

Надо сразу отметить, что вариант III является неубедительным, так как в этом случае в большей части оболочки конвективные скорости больше скорости звука и H_p больше, чем вся толщина конвективной зоны. Теория пути перемешивания же годится только для тех случаев, где скорость конвективных элементов меньше скорости звука.

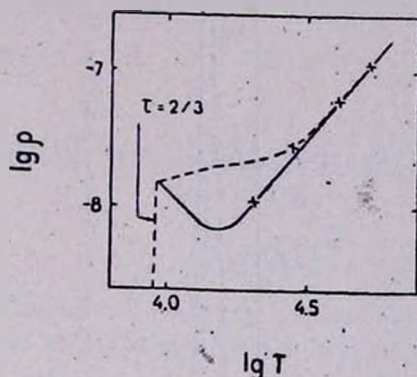


Рис. 1. Структура конвективной зоны звезды, $T_{\text{eff}} = 8200^\circ\text{K}$, $g = 1.1 \cdot 10^4$, — вариант I и II, ---- вариант III.

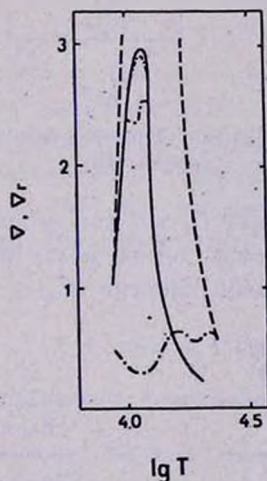


Рис. 2. Поведение градиентов для различных вариантов $T_{\text{eff}} = 8200^\circ$, $g = 1.1 \cdot 10^4$, — ∇_{con} вариант III, ---- ∇_{rad} вариант III, — ∇_{con} , ∇_{rad} (совпадают) вариант II, — ∇_{rad} вариант I, ---- ∇_{con} вариант I.

В работе Лура [9] было рассчитано большое количество моделей оболочек с различными значениями T_{eff} и g . В своих расчетах он трактовал конвекцию в соответствии с вариантом I. Согласно его

расчетам, максимальный поток механической энергии генерируется у звезд главной последовательности поздних А и ранних F, которые из-за этого имеют горячие и плотные короны. Однако, если исполь-

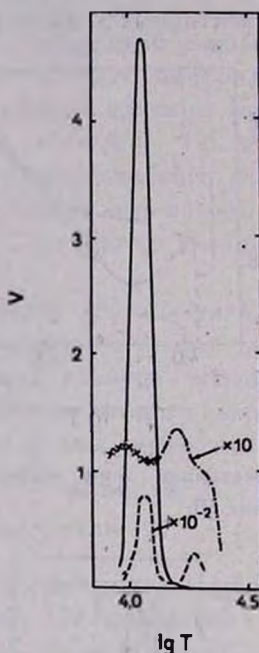


Рис. 3. Поведение конвективных скоростей для различных вариантов. — вариант I, ---- вариант II, — · — · — вариант III.

зовать для расчетов вариант II, то, как видно из табл. 1 и 2, конвективные скорости таких звезд очень малы и также весьма мал генерируемый ими поток звуковой энергии ($F_m \sim v_{\text{con}}^3$).

Таблица 1
 $g = 1.1 \cdot 10^4$, $T_{\text{eff}} = 8200^\circ$

Вариант	v_{con} км/сек
I	4.7
II	$8 \cdot 10^{-3}$
III	14

Таблица 2
 $g = 7 \cdot 10^3$, $T_{\text{eff}} = 7150^\circ$

Вариант	v_{con} км/сек
I	5.7
II	$7.3 \cdot 10^{-2}$
III	не рассчитывалась

При расчетах генерации магнитных полей [7] также используется величина $\pi F_c / c_p \rho T \sim v_{\text{con}}^3 / l_t$, т. е. величина, которая сильно зависит от принятой модели конвекции. Для модели оболочки ($g = 1.1 \cdot 10^4$,

$T_{\text{eff}} = 8200^\circ$) эта величина для варианта I соответствует $4.751 \cdot 10^5$, а для варианта II $= 5.85 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, разная трактовка длины перемешивания для звезд со слаборазвитой конвективной зоной (водородной) может играть существенную роль для объяснения различных физических процессов в оболочках таких звезд.

Астрономический совет
АН СССР

CONVECTION IN THE ENVELOPES OF MAIN SEQUENCE A-F STARS

E. ERGMA

For the convective envelopes of late A and earlier F stars it is shown that various assumptions for the mixing length:

$$\text{I: } 1 = \alpha H_p,$$

$$\text{II: } 1 = H_p \text{ if } H_p < |r - r_e| \text{ and } 1 = |r - r_e| \text{ if } H_p > |r - r_e|,$$

where r_e is the radius of the nearest edge of the convection zone and

$$\text{III: } 1 = \alpha H_p$$

leads to different values of the convective velocities for these three cases. It follows that in the frame of the mixing length theory one can not give a definite explanation of various physical processes in stellar envelopes (as the generation of magnetic field and the mechanical energy flux). It is shown that the assumption III for the computation of convective envelopes for these stars is not correct since in this case $v_{\text{con}} > v_s$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. У. Х. Уус, Научные информации Астрономического совета АН СССР, 16, 17, 1971.
2. Э. Эрма, А. А. Памятных, Научные информации Астрономического совета АН СССР (в печати), 1971.
3. E. Böhm-Vitense, Z. Astrophys., 46, 108, 1958.
4. Э. Эрма, Астрон. ж., 48, 66, 1971.
5. K.-H. Böhm, E. Stückl, Z. Astrophys., 66, 487, 1967.
6. J. Latour, Astron. Astrophys., 9, 277, 1970.
7. Э. М. Дробышевский, Э. Эрма — неопубликованные данные.
8. W. D. Watson, Ap. J., (Lett.), 162, L45, 1970.
9. C. de Loore, Astrophys. Space Sci., 6, 60, 1970.

