

УДК 524.312—44

ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ
В ЗВЕЗДНОМ ВЕТРЕ ОВ-ЗВЕЗД

А. В. ТАМБОВЦЕВА

Поступила 8 июля 1991

Принята к печати 11 февраля 1992

Определены терминальные и турбулентные скорости звездного ветра 23 ОВ-звезд путем сравнения наблюдаемых и теоретических профилей УФ резонансных линий. Распределение скорости с расстоянием находится из решения уравнений гидродинамики для сферически-симметричного стационарного и вторичного ветра. Обнаружена корреляция турбулентной скорости с радиусом, светимостью, массой и темпом потери массы звезды.

1. *Введение.* Анализ профилей ультрафиолетовых резонансных линий в спектрах звезд ранних спектральных классов свидетельствует об интенсивной потере массы этими звездами в виде звездного ветра. Ветер ускоряется от дозвуковых скоростей, которые он имеет на уровне фотосферы звезды, до сверхзвуковых порядка 10^3 км/с на больших расстояниях от поверхности звезды (терминальная скорость v_∞) [1, 2]. Терминальная скорость достигается веществом ветра в областях, где действие ускорения уже прекращается, а взаимодействие с межзвездной средой еще не становится важным. Максимальная скорость расширения ветра (v_*), определяемая по смещению абсорбционного компонента P Cyg профиля — легко измеримый и независимый от теоретических моделей ветра параметр. Если закон изменения скорости в звездном ветре описывается монотонно возрастающей функцией расстояния (что подтверждается теоретическими расчетами [1, 3]) и можно пренебречь турбулентными скоростями, то истинная терминальная скорость v_∞ равна скорости v_* . Однако сравнение теоретических профилей УФ резонансных линий с наблюдаемыми свидетельствует о существовании некоторого дополнительного (помимо теплового доплеровского) механизма уширения линий. Величина этого уширения достигает нескольких сотен км/с. Люси предположил, что такая форма профилей образуется и в случае немонотонного закона изменения ско-

рости в ветре звезды, который может быть возмущен ударными волнами [4, 5].

Присутствие ударных волн или турбулентной скорости в ветре меняет профиль линии по сравнению с профилями, рассчитанными без учета этих эффектов (см., например, атлас теоретических профилей линий Кастора и Ламерса [6]) следующим образом:

- появляются широкие абсорбционные „корыта“ у насыщенных линий;
- эмиссионный пик Р Суg профиля смещается в сторону больших длин волн;
- синий край абсорбционного компонента профиля становится менее резким и постепенно достигает континуума.

Численные значения турбулентной скорости для двух звезд (ζ Pup, O4If и τ Sco, B0V) были определены в равных работах Хаманна [7] и Ламерса и Роджерсона [8]. Эти значения оказались порядка 100 км/с для ζ Pup [7] и 150 км/с для τ Sco [8].

В последние годы появились работы, посвященные детальному исследованию влияния турбулентной скорости на формирование профилей УФ резонансных линий C IV, N V, Si IV и субординатных линий N IV и C III для большого числа звезд ранних спектральных классов. Гроеневеген и Ламерс [9] нашли значения турбулентной скорости для ветров 27 OB-звезд; Гроеневеген и др. [10] исследовали зависимость турбулентной скорости от спектрального класса и класса светимости, а также эффективной температуры звезды. По их оценкам величины турбулентных скоростей для O-звезд падают в интервале значений от 120 до 350 км/с. Этот факт говорит о том, что терминальные скорости, полученные по точке пересечения „синего“ края профиля поглощения с континуумом, завышены на несколько сот км/с.

В настоящей работе приводятся результаты исследования зависимости турбулентной скорости от параметров OB-звезд и звездного ветра на основе сравнения наблюдаемых и теоретически рассчитанных профилей УФ резонансных линий. Распределение скорости и плотности в расширяющихся оболочках звезд получены путем решения уравнений гидродинамики для сферически-симметричного стационарного ветра.

2. Параметры звездного ветра и турбулентная скорость.
Рассмотрим модель сферически-симметричного стационарного и изотермического ветра, который описывается основными уравнениями гидродинамики—уравнениями сохранения массы, импульса и уравнением состояния

$$M = 4\pi r^2 \rho v = \text{const}, \quad (1)$$

$$v \frac{dv}{dr} = \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} - \frac{GM_*}{r^2} + g_R^{Th} + g_R^L \quad (2)$$

$$P/\rho = a^2, \quad (3)$$

где \dot{M} — темп потери массы, r — радиальная координата, P , ρ , v — давление, плотность и скорость газа соответственно, G — гравитационная постоянная, M_* — масса звезды, g_R^{Th} — радиационное ускорение вследствие томсоновского рассеяния, g_R^L — радиационное ускорение в линиях, a — скорость звука.

В современной теории звездного ветра, порождаемого давлением излучения [3], радиационное ускорение в линиях

$$g_R^L = \frac{\sigma_e F}{c} M(t), \quad (4)$$

где множитель $\sigma_e F/c$ представляет вклад континуума в суммарное излучение (σ_e — коэффициент рассеяния, F — интегральный поток излучения, c — скорость света), а множитель $M(t)$ — вклад всех линий

$$M(t) = kt^{-a} \left(\frac{N_e}{W} \right)^\delta CF. \quad (5)$$

Здесь k , a , δ — постоянные, t — „эквивалентная“ оптическая толщина $t = \sigma_e \rho v_T (dv/dr)$, v_T — тепловая скорость атомов, N_e — электронная плотность, W — коэффициент дилуции, CF — множитель, учитывающий вклад в рассеяние излучения фотонов, распространяющихся в нерадиальном направлении.

Комбинируя уравнения (1) — (3) и учитывая выражение (4) для g_R^L , получаем уравнение движения в виде

$$\frac{dv}{dr} = \frac{v}{v^2 - a^2} \frac{1}{r} \left[2a^2 - \frac{GM_*}{r} (1 - \Gamma) + \frac{GM_*}{r} \Gamma M(t) \right], \quad (6)$$

где $\Gamma = \sigma_e L / (4\pi c GM_*)$, L — светимость звезды.

Метод решения уравнения движения (6) описан в работах [11, 12]. Остановимся на главных результатах решения.

При заданных параметрах звезды и фиксированных k , a и δ единственным неопределенным параметром остается темп потери массы \dot{M} , который входит в уравнение (6) через $M(t)$ ($t \propto \rho \propto \dot{M}$) и является свободным параметром. Решая уравнение (6) с различными зна-

чениями \dot{M} , мы получаем набор решений с разными распределениями скорости $v(r)$, плотности $\rho(r)$ и терминальными скоростями ветра.

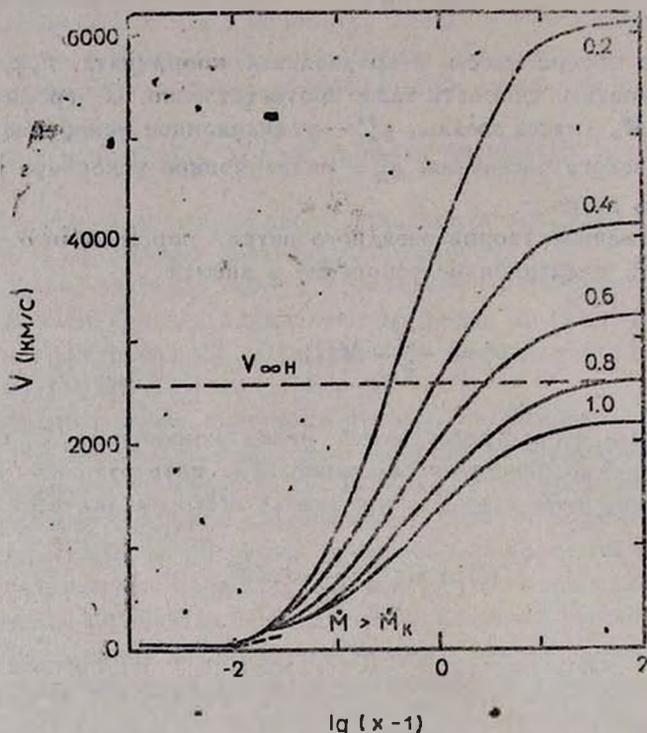


Рис. 1. Распределение скорости с расстоянием в ветре ζ Pup. Отмечены значения темпа потери массы \dot{M} , выраженные в единицах критического \dot{M}_k , и наблюдаемая терминальная скорость 2660 км/с.

Особенностью решений уравнения движения является существование предельной величины темпа потери массы („критической“) \dot{M}_k такой, что при $\dot{M} > \dot{M}_k$ решений уравнения (6) не существует. На рис. 1 дан набор решений для звезды ζ Pup (O4If) с различными значениями входного параметра \dot{M} , начиная от значений $\dot{M} = 0.2\dot{M}_k$ до $\dot{M} = \dot{M}_k$. Для того, чтобы выбрать из них верное решение необходимо найти критерий его поиска. Таким критерием может считаться наблюдаемая терминальная скорость звездного ветра. Для ζ Pup, в частности, она равна 2660 км/с и достигается заданием $\dot{M} = 0.8\dot{M}_k$.

Так как критический темп потери массы для ζ Pup равен по нашим расчетам $6.8 \cdot 10^{-6} M_{\odot} \text{ г}^{-1}$, то темп потери массы, соответствующий наблюдаемой терминальной скорости, равен $0.8 M_{*}$ ($5.4 \cdot 10^{-6} M_{\odot} \text{ г}^{-1}$), что согласуется с \dot{M} , определенным по данным наблюдений $(4-6)10^{-6} M_{\odot} \text{ г}^{-1}$ [2, 13].

Таким образом, мы рассчитали основные параметры звездного ветра для 21 О-звезды и 2-х В-звезд. Вычисленные значения темпа потери массы соответствуют наблюдаемой максимальной скорости расширения ветра v_{*} , обозначим их тем же индексом M_{*} .

Для проверки полученного распределения скорости в ветре были рассчитаны профили УФ резонансных линий Si IV (λ 1393.76, 1402.77), C IV (λ 1538.20, 1550.77), N V (λ 1238.81, 1242.80). Ионизационный баланс рассчитывался в „небулярном“ приближении [14]. Метод расчета переноса излучения в линиях подробно описан в работе Ламерса и др. [15]. Спектр ионизирующего излучения брался планковским. Профиль коэффициента поглощения принимался гауссовым с учетом тепловой и турбулентной скоростей. Закон изменения турбулентной скорости задавался в виде $v_{\text{турб}} = 0.1 v(r)$, где $v(r)$ — регулярная скорость движения ветра.

В рассчитанных профилях линий с параметрами ветра M_{*} и v_{*} „синий“ край абсорбционного компонента всегда оказывается смещенным в коротковолновую область спектра на несколько сот км/с (в среднем на 300—400 км/с). Поэтому для каждой звезды при расчете профилей линий подбиралась терминальная скорость $v_{\infty} = sv_{*}$ (s — коэффициент пропорциональности, $s < 1$) путем увеличения темпа потери массы, (что дает уменьшение терминальной скорости), пока не достигалось совпадение наблюдаемого и рассчитанного профилей линий. При этом фиксировалась разность между максимальной v_{*} и „истинной“ терминальной v_{∞} скоростями ветра $\Delta v = v_{*} - v_{\infty}$ и темп потери массы, соответствующий скорости v_{∞} (обозначим его M_{∞}).

На рис. 2 приведены профили линий C IV для ζ Pup, рассчитанные в предположении $v_{\infty} = v_{*}$ (пунктир) и $v_{\infty} = 0.89 v_{*}$ (точки). В последнем случае теоретический профиль линии хорошо согласуется с наблюдаемым (сплошная линия). Найденное смещение $\Delta v = v_{*} - v_{\infty}$ равно 295 км/с.

Параметры ОБ-звезд, для которых были рассчитаны характеристики их ветров и профили линий, даны в табл. 1. В первых трех колонках таблицы даны номер звезды по HD (1), название (2) и спектральный тип (3), в четвертой, пятой и шестой соответственно пара-

метры звезды: эффективная температура T_{eff} , масса M_* и радиус R_* со ссылкой на источник (колонка 7), в восьмой и девятой, соответственно, наблюдаемый темп потери массы \dot{M}_H и максимальная скорость v_* , в десятой — рассчитанный темп потери массы, соответствующий наблюдаемой максимальной скорости ветра \dot{M}_* , в одиннадцатой и двенадцатой соответственно рассчитанные значения реальной терминальной скорости v_- и соответствующие ей темпы потери массы \dot{M}_- . В последней колонке даны отношения рассчитанной терминальной скорости к наблюдаемой v_-/v_* .

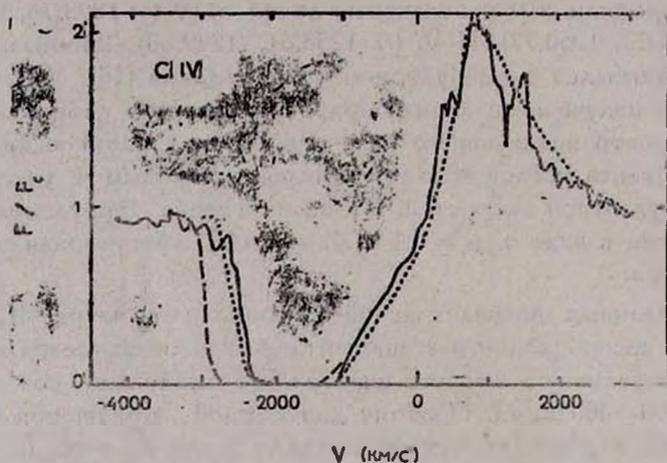


Рис. 2. Рассчитанные профили линии C IV для ζ Pup без поправки за турбулентную скорость (пунктир) и с учетом турбулентной скорости (точки). Сплошной линией показан наблюдаемый профиль.

Анализ результатов говорит о том, что наблюдаемые „предельные“ скорости v_* превышают реальные примерно на 10—15%. Среднее отношение v_-/v_* для O-звезд равно 0.87, что очень близко к средним значениям v_-/v_* , полученным другими авторами: 0.87 (Грое-невеген и Ламерс [9]), 0.85 (Ховарс и Принья [13]).

Надо заметить, что для двух звезд (ξ Per и HD 151804) наблюдается совпадение профилей и при $v_- = v_*$. Отличительной чертой этих звезд является то, что терминальные скорости их ветров $v_- (=v_*)$ получаются в расчетах при темпе потери массы, равном или близком к критическому.

НАБЛЮДАЕМЫЕ И РАССЧИТАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЕТРА ОВ-ЗВЕЗД

Таблица 1

HD	Звезда	Спектр. класс	$T_{\text{eff}}/10^4 \text{ K}$	M_*/M_{\odot}	R_*/R_{\odot}	Литература	\dot{M}_{OH}	V_{OH}	\dot{M}_{O}	\dot{M}_{H}	V_{∞} км/с	V_{∞}/V_*
93129 A		O 3I f +	4.5	100	21	[13]	12.6	3950	9.8	12.0	3265	0.83
66811	ϵ Pup	O 4I f	4.2	74	19	[13]	5.0	2660	5.4	6.4	2365	0.89
164794	g Sgr	O 4 V	5.0	64	12	[3]	4.1	3550	4.7	4.8	3150	0.90
14947		O 5I f +	3.9	60	19	[13]	3.2	2550	3.3	3.8	2290	0.90
15558		O 5III (f)	4.3	78	19	[13]	6.3	3200	5.6	6.0	2970	0.93
210839	λ Cep	O 6 e f	3.8	65	23	[16]	4.1	2600	3.3	3.5	2230	0.86
101190		O 6 V ((f))	4.2	53	14	[13]	2.0	3100	1.8	2.0	2890	0.93
93130		O 6III (f)	4.1	49	13	[13]	1.3	3100	1.1	1.4	2665	0.86
363758		O 6.5I e f	3.7	69	24	[13]	5.8	2675	5.3	6.0	2280	0.85
192639		O 7I b (f)	3.6	52	20	[13]	2.5	2700	2.1	2.7	2293	0.85
47839	15 Mon	O 7 V ((f))	3.5	29	12	[16]	0.5	2600	0.3	0.4	2165	0.83
24912	ξ Per	O 7.5III ((f))	3.4	27	11	[16]	0.3	2600	0.4	0.4	2600	1.00
151804		O 8I a f	3.3	64	31	[16]	7.9	1475	9.6	9.6	1475	1.00
47129	V 640 Mon	O 8 p	3.5	39	17	[13]	1.0	2640	1.1	1.4	2260	0.86
36861	λ Ori	O 8III ((f))	3.5	29	12	[16]	0.3	2650	0.4	0.5	2205	0.83
57061	τ CMa	O 9II	3.2	56	30	[13]	4.0	2350	3.5	4.2	2075	0.88
37742	ζ Ori	O 9.5I	3.2	60	31	[13]	5.0	2250	4.3	5.0	2025	0.90
30614	α Cam	O 9.5I a	3.0	48	30	[16]	4.1	1900	1.0	1.2	1610	0.84
93222		O 9.5I b	3.8	34	11	[13]	0.3	3050	0.4	0.5	2520	0.83
188209		O 9.5I ab	3.0	34	21	[13]	2.5	2100	2.5	3.0	1750	0.83
149038	μ Nor	O 9.7	3.0	40	25	[13]	2.0	2200	1.6	1.9	1865	0.85
38771	κ Ori	B0 5I ab	2.6	33	28	[16]	2.9	1800	2.8	3.0	1720	0.83
91316	ρ Leo	B 1I a	2.1	24	31	[16]	1.1	1350	0.9	1.3	1295	0.82

На рис. 3 приведены рассчитанные и наблюдаемые профили резонансных линий для ряда звезд из нашего списка. Наблюдаемые профили линий взяты из работ [2, 9, 13, 16]. Все расчеты проводились в рамках модели „холодного“ ветра ($T_* = 0.9T_{\text{off}}$). Из рис. 3 видно удовлетворительное соответствие рассчитанных профилей УФ резонансных линий наблюдаемым.

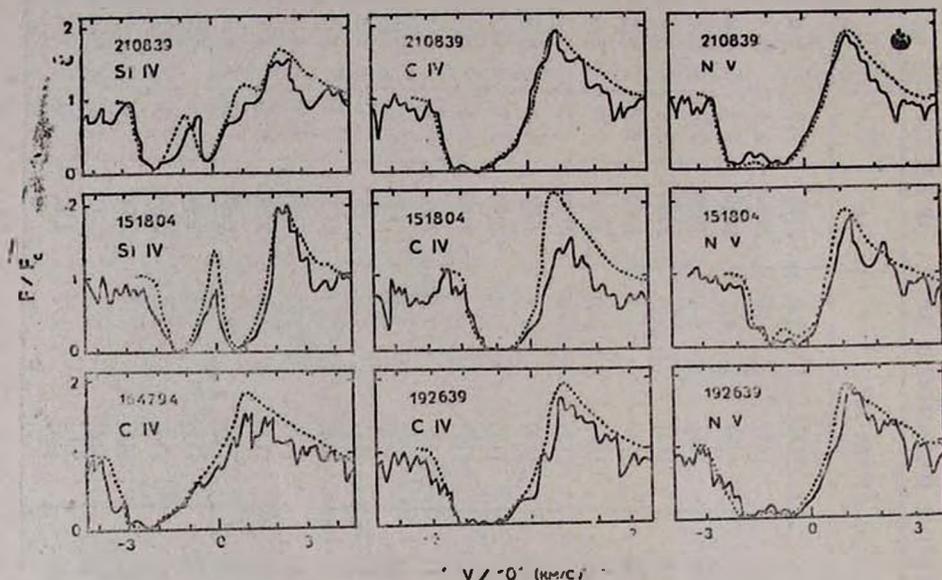


Рис. 3. Рассчитанные (точки) и наблюдаемые (сплошная линия) профили линий для звезд λ Cor, HD 151804, 9 Sgr и HD 192639.

3. Корреляция турбулентной скорости с параметрами звезды и звездного ветра. Нами были проведены исследования по поиску корреляции между турбулентной скоростью и основными параметрами звезды и звездного ветра. Из расчетов динамики ветра и профилей линий мы находим разность между наблюдаемой и реальной терминальными скоростями $\Delta v = v_* - v_{\infty}$ (поправка за турбулентную скорость). На рис. 4 приведены зависимости рассчитанных смещений скорости Δv от логарифма светимости, массы, темпа потери массы и радиуса звезды. Поправка за турбулентную скорость уменьшается с ростом всех перечисленных параметров от значений ≈ 500 км/с (поздние O-звезды) до ≈ 200 км/с (ранние O-звезды). С остальными параметрами (эффективная температура, „предельная“ скорость расширения v_{∞} , скорость убегания на поверхности звезды, спектральный класс и класс светимости) корреляция не обнаружена. Зависимости между смещени-

ем скорости Δv и L , M_* , R_* и \dot{M} для O -звезд, определенные методом наименьших квадратов, имеют вид

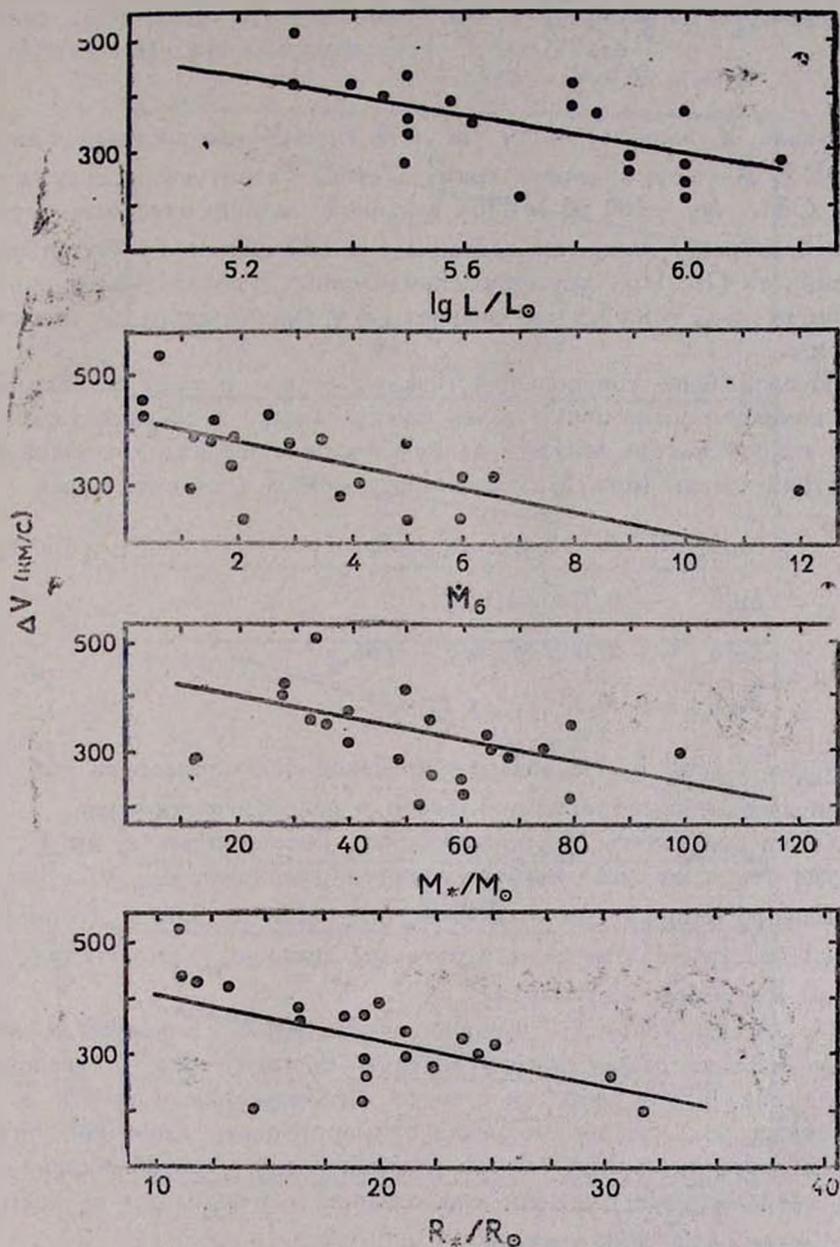


Рис. 4. Зависимость $\Delta V = V_\infty - V_\infty$ от светимости, темпа потери массы, массы и радиуса звезды.

$$\begin{aligned}\Delta v &= -202.6 \lg L/L_{\odot} + 1500, \\ \Delta v &= -2.2 M_*/M_{\odot} + 455, \\ \Delta v &= -8.7 R_*/R_{\odot} + 501, \\ \Delta v &= -21.9 M_0 + 413,\end{aligned}\tag{7}$$

где запись \dot{M}_0 означает $\dot{M}/(10^{-6} M_{\odot} \text{ г}^{-1})$. Исключение составляет звезда HD 93129 A — одна из самых ярких O-звезд Галактики (спектральный класс O3If, $M_* = 100 M_{\odot}$). При заданном законе изменения турбулентной скорости смещение составляет $\simeq 680$ км/с и не подчиняется зависимости (7). При другом распределении турбулентной скорости, например, $v_{\text{турб}} = 0.05 v(r)$, разность Δv уменьшается до величины 350 км/с.

Исследование соотношений между $\Delta v/v_{\text{ус}}$ и теми же параметрами выявляет более явную связь между $\Delta v/v_{\text{ус}}$ и светимостью, массой и темпом потери массы и слабую корреляцию с эффективной температурой звезды (рис. 5). Зависимости между ними имеют вид

$$\begin{aligned}\Delta v/v_{\text{ус}} &= -0.73 \lg L/L_{\odot} + 1.68, \\ \Delta v/v_{\text{ус}} &= -0.02 \dot{M}_0 + 0.45, \\ \Delta v/v_{\text{ус}} &= -0.003 M_*/M_{\odot} + 0.56, \\ \Delta v/v_{\text{ус}} &= -0.07 T_{\text{эфф}} + 0.66,\end{aligned}\tag{8}$$

где $T_{\text{эфф}} \equiv T_{\text{эфф}}/10^4$ К. Не обнаружено какой-либо корреляции с $v_{\text{ус}}$, радиусом звезды, спектральным классом и классом светимости.

Наши результаты не противоречат Гроеневегена и др. [9, 10], которые отмечают лишь слабое уменьшение величины $v_{\text{турб}}/v_{\text{с}}$ с ростом эффективной температуры от $0.15 v_{\text{с}}$ (O9 — B1) до $0.08 v_{\text{с}}$ (ранние O звезды), а также отмечают отсутствие связи $v_{\text{турб}}$ со спектральным классом и классом светимости.

Не касаясь вопроса о природе турбулентных движений в ветре, найдем связь поправки за турбулентную скорость Δv и значением самой турбулентной скорости в ветре. Исследования Ламерса и др. [15] показывают, что эта поправка примерно равна удвоенной турбулентной скорости; иными словами, определяемую из наблюдений скорость ветра на бесконечности можно записать в виде $v_{\infty} = v_{\infty} + 2v_{\text{турб}}$, при условии, что $v_{\text{турб}} = \text{const}$.

Наши расчеты профилей линий с $v_{\text{турб}} = \Delta v/2 = \text{const}$ дают удовлетворительное согласие с наблюдаемыми профилями; расхождение

между теоретическими профилями в случае (а) (турбулентная скорость увеличивается с расстоянием) и (б) (турбулентная скорость постоянна и равна $\Delta v/2$) наблюдается только в крыле профиля поглощения, причем вариант (а) лучше соответствует наблюдениям.

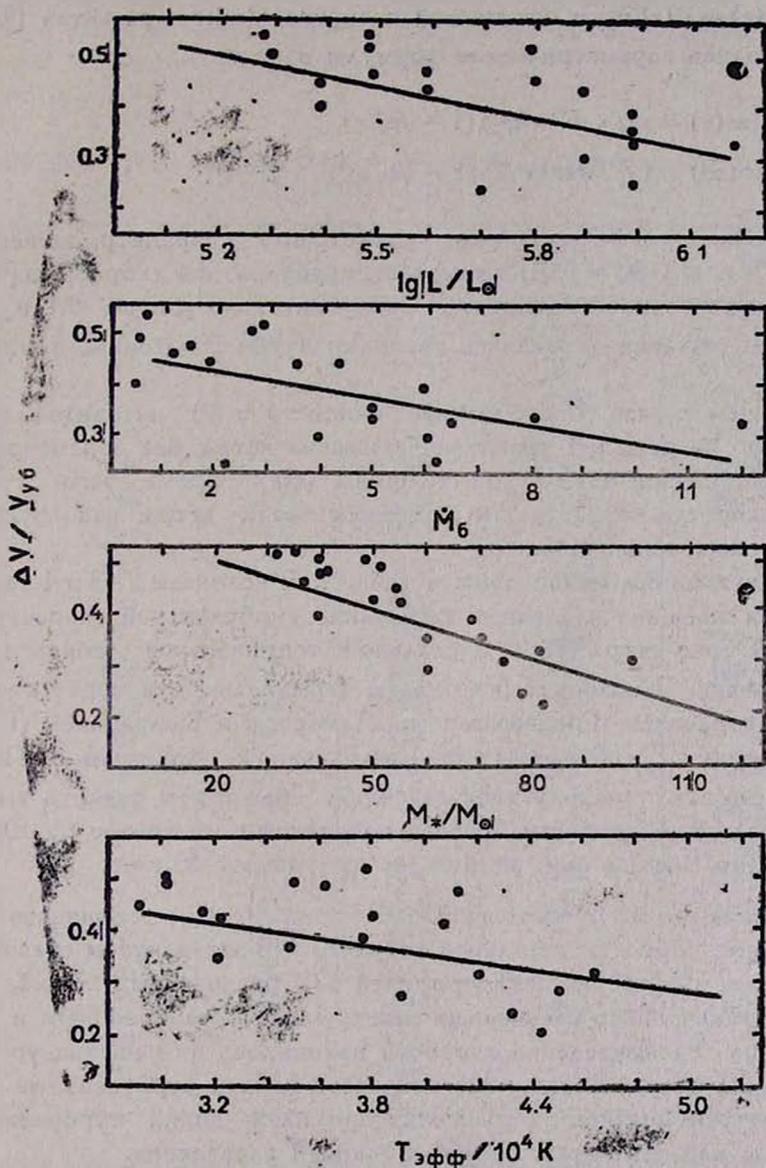


Рис. 5. Зависимость отношения $\Delta V / V_{уб}$ от светимости, темпа потери массы, массы и эффективной температуры звезды.

Сравним найденные нами значения турбулентной скорости ($v_{\text{турб}} = \Delta v/2$) со значениями $v_{\text{турб}}$, определенными Гроеневетеном и др. [9, 10]. Заметим, что главное различие при вычислении профилей линий состояло: во-первых, в различии определения закона изменения скорости $w(r) = v(r)/v_{\infty}$ и оптической толщины $\tau(w)$; в расчетах [9, 10] использовались параметрические формулы в виде

$$\begin{aligned} w(r) &= w_0 + (1 - w_0)(1 - R_*/r)^{\alpha_1}, \\ \tau(w) &= (T/l)(w/w_1)^{\alpha_2} [1 - (w/w_1)^{\beta}]^{\alpha_3}, \end{aligned} \quad (9)$$

где T , α_1 , α_2 , w_1 и β — свободные параметры, l — параметр, зависящий от α_1 , α_2 , β и w_1 ; $w_0 = 0.01$; во-вторых, турбулентная скорость в [9, 10] задавалась постоянной величиной, приблизительно равной $0.1 v_{\infty}$. Ее конкретное значение находилось авторами путем „подгонки„ профилей линий.

В нашем случае распределение скорости $w(r)$ находится непосредственно из решения уравнения движения ветра без параметрического представления оптической толщины $\tau(w)$. Кроме того, турбулентная скорость возрастает к наружным слоям ветра как функция скорости расширения газа.

Результаты сравнения даны в табл. 2. В колонках 2, 3 и 4 табл. 2 приводятся значения найденных смещений, турбулентной скорости во внутренней зоне ветра ($\Delta v/2$) и реальной терминальной скорости v_{∞} соответственно. В колонках 5 и 6 даны терминальные и турбулентные скорости, найденные Гроеневетеном, Ламерсом и Польдрахом (ГЛП) [10]. Значения $v_{\text{турб}}$ по нашим данным близки к значениям ГЛП или близки к нижнему пределу этих значений. Мы можем сделать вывод, что турбулентные скорости О-звезд находятся в интервале от 100 до 300 км/с; для В-звезд они, видимо, не превышают 50 км/с.

4. *Заключение.* В настоящей работе определены терминальные и турбулентные скорости звездного ветра 23 ОВ-звезд путем сравнения наблюдаемых и теоретических профилей УФ резонансных линий. Течение рассматривалось сферически-симметричным, стационарным и изотермическим. Распределение скорости находилось из решения уравнений динамики ветра. В динамической части задачи турбулентные движения не учитывались, в расчетах профилей линий турбулентная скорость задавалась возрастающей функцией расстояния.

Значения турбулентных скоростей для звезд нашего списка лежат в пределах 100—300 км/с. Обнаружена корреляция турбулентной скорости с радиусом, светимостью, массой и темпом потери массы

звезды. Более четкая связь прослеживается между последними тремя параметрами и отношением турбулентной скорости к скорости убегания на поверхности звезды. Это отношение слабо коррелирует с эффективной температурой. Турбулентная скорость меньше в более мощных по интенсивности, плотных ветрах. Реальная терминальная скорость звездного ветра меньше скорости, получаемой из наблюдений; отношение $v_{\text{т}}/v_{\infty}$ в среднем составляет 0.87.

Таблица 2

СРАВНЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ СКОРОСТЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДАННОЙ РАБОТЫ И РАБОТ [9, 10]

HD	Δv км/с	$v_{\text{турб}}$ км/с	v_{∞} км/с	v_{∞} ГАП км/с	$v_{\text{турб}}$ ГАП км/с
14947	260	130	2250	2300	230±100
15558	230	115	2970	3350	110±90
24912	—	—	2600	2400	290±120
30614	290	145	1610	1550	190±60
36861	445	225	2205	2400	290±70
37742	225	113	2025	2100	320±130
47129	380	190	2260	—	—
47839	435	220	2165	2300	320±110
57061	275	140	2075	—	—
66811	295	150	2365	2200	290±70
93129 A	680	340	3265	3050	180±80
93130	435	220	2665	—	—
93222	530	265	2520	—	—
101190	210	105	2890	2900	170±80
149038	335	170	1855	1750	260±150
151804	—	—	1475	1600	240±80
163758	300	150	2280	2200	210±60
164794	360	180	3190	2950	260±140
188209	355	180	1750	—	—
192639	405	200	2295	—	—
210839	370	185	2230	2100	210±70
38771	80	40	1720	—	—
91316	55	30	1295	—	—

Необходимо иметь в виду, что под термином „турбулентность“ в задачах, связанных с исследованием звездного ветра, подразумеваются хаотические движения, которые могут возникнуть и развиваться

в звездном ветре. Закон изменения скорости этих движений неизвестен, отсюда возникает трудность задания „турбулентного“ давления в уравнении движения ветра. В данной работе представлены результаты предварительных расчетов. Для понимания физических процессов, приводящих к появлению сверхзвуковых хаотических движений в звездном ветре, требуются дальнейшие расчеты с учетом турбулентности в уравнениях динамики и в нагреве ветра.

Автор выражает благодарность Э. Я. Вильковскому за полезные замечания и обсуждение результатов.

Астрофизический институт АН Казахстана

TERMINAL VELOCITIES AND TURBULENCE IN STELLAR WINDS OF OB-STARS

L. V. TAMBOVTSEVA

Terminal and turbulent velocities of stellar wind for 23 OB-stars are determined by *UV* resonance line fit. Velocity law is derived from the solution of dynamics equations for spherically symmetric stationary and isothermal flow. A correlation of the turbulent velocity with the radius, the luminosity, the mass and the mass-loss rate is detected.

ЛИТЕРАТУРА

1. *J. I. Castor, D. C. Abbott, R. Klein*, *Astrophys. J.*, **195**, 157, 1975.
2. *T. P. Snow, D. C. Morton*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **32**, 429, 1976.
3. *A. W. A. Pauldrach, J. Puls, R. P. Kudritzki*, *Astron. Astrophys.*, **164**, 86, 1986.
4. *L. B. Lucy*, *Astrophys. J.*, **274**, 392, 1983.
5. *L. B. Lucy*, *Astron. Astrophys.*, **140**, 210, 1984.
6. *J. I. Castor, H. J. G. L. M. Lamers*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **39**, 481, 1979.
7. *W. R. Hamann*, *Astron. Astrophys.*, **84**, 342, 1980.
8. *H. J. G. L. M. Lamers, J. B. Rogersen*, *Astron. Astrophys.*, **65**, 417, 1973.
9. *M. A. T. Groenewegen, H. J. G. L. M. Lamers*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **79**, 359, 1989.
10. *M. A. T. Groenewegen, H. J. G. L. M. Lamers, A. W. A. Pauldrach*, *Astron. Astrophys.*, **221**, 71, 1989.
11. *Л. В. Тамбовцева*, *Астрон. ж.*, **68**, 332, 1991.
12. *Е. Я. Вилковский, Л. В. Тамбовцева*, *Astron. Astrophys.*, 1991 (в печати).
13. *I. D. Howarth, R. K. Prinja*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **69**, 527, 1989.
14. *Д. Михалас*, *Звездные атмосферы*, т. I, Мзр. М., 1982, стр. 171.
15. *H. J. G. L. M. Lamers, M. Cerruti-Sola, M. Perinotto*, *Astrophys. J.*, **314**, 726, 1987.
16. *R. K. Prinja, I. D. Howarth*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **61**, 357, 1986.