

УДК: 524.312—355

СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕННОГО И ТЕОРЕТИЧЕСКОГО  
АБСОЛЮТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ  
В СПЕКТРЕ ВЕГИ

В. П. МЕРЕЖИН, Е. В. РУБАН

Поступила 25 сентября 1987

Принята к печати 17 декабря 1987

Проведено сравнение с данными моделей звездных атмосфер наблюдаемого абсолютного распределения энергии в спектре Веге в диапазоне 3100—10 800 А, полученного в ГАО АН СССР в 1986 г. на основе «привязки» излучения от Веге к излучению наземного источника, прокалиброванного с помощью Государственного первичного эталона. Показано, что наблюдаемое распределение наилучшим образом описывается моделью с  $T_{\text{eff}} = 9850$  К. При этом отмечается наличие избытка излучения в диапазоне 7500—10 800 А на 7—10% по сравнению с модельными данными. Делается попытка объяснения наблюдаемого избытка. Вероятно, Вега является быстрым ротатором ( $v \approx 230$  км/с) с углом наклона оси вращения к лучу зрения  $i = 4^\circ \div 7^\circ$ .

1. *Введение.* Вега ( $\alpha$  Lyr, BS 7001, HD 172167, Sp A0 V) как первичному спектрофотометрическому стандарту всегда уделялось большое внимание. Измерения квазимонохроматических освещенностей,  $E_\lambda$ , создаваемых ею на внешней границе земной атмосферы, выполнялись многими исследователями в различных спектральных диапазонах [1—10]. Наиболее изученными являются видимая и ближняя ИК-области спектра в диапазоне длин волн 3100—11 000 А [2—7]. Однако даже в этом диапазоне точность абсолютных измерений  $E_\lambda$  значительно ниже точности наблюдений этой величины в относительных единицах. Поэтому для повышения точности измерений  $E_\lambda$  в абсолютных энергетических единицах важную роль играет дальнейшее совершенствование методики абсолютной калибровки звездных спектров.

Существенный шаг в этом направлении был сделан А. А. Архаровым, который одновременно использовал два наиболее распространенных метода абсолютизации — диффузно-рассеивающего экрана и удаленного источника, устранив при этом основные недостатки каждого метода в отдельности [11]. На их основе были выполнены измерения распределения энергии в спектре Веге в диапазоне 3100—10 800 А в единицах спектраль-

ной плотности энергетической освещенности Государственного первичного эталона (ГОСТ 8.196-81). Результаты измерений [7] значительно отличаются от данных предыдущих исследователей [2—5]. Поскольку новые измерения выполнены весьма тщательно в методическом отношении (см. [11]), то эти результаты нам представляются достаточно надежными.

В настоящей работе ставится задача поиска подходящей модели звездной атмосферы для описания новых результатов абсолютных измерений распределения энергии в спектре Веги с целью оценки некоторых физических характеристик этой звезды.

2. *Исходные параметры.* Для сравнения наблюдаемых величин с модельными данными примем следующие значения параметров Веги: угловой диаметр  $\theta_{LD} = (3.''24 \pm 0.''07) \cdot 10^{-3}$  [12], параллакс  $\pi = 0.''123 \pm 0.''005$  [13]. Тогда расстояние до звезды  $d = (8.1 \pm 0.3)$  пк, а радиус  $R = (1.97 \pm 0.09) \cdot 10^{11}$  см  $= (2.83 \pm 0.13) R_{\odot}$ , где  $R_{\odot}$  — радиус Солнца.

Массу звезды,  $M$ , можно оценить из известных соотношений: абсолютная величина ( $M_V$ ) — светимость и масса — светимость, приведенных в [14]. Если принять для Веги  $M_V = 0.^m7 \pm 0.^m4$ , то есть среднее значение абсолютной величины звезды подкласса A0 главной последовательности с учетом вариаций  $M_V$  внутри подкласса, то получим  $M = (3.0 \pm 0.3) M_{\odot}$  (здесь  $M_{\odot}$  — масса Солнца). Тогда величина логарифма динамического ускорения силы тяжести,  $\lg g_{\text{дв}}$ , оказывается равной  $4.01 \pm 0.09$ . (Заметим, что континуум звезды мало чувствителен к  $\lg g$ . Действительно, различие в  $\lg g$  даже на 0.5 (см. [15]) для него оказывается несущественным).

3. *Сравнение с моделями звездных атмосфер.* Эмпирическое абсолютное распределение энергии в спектре Веги сравнивалось с данными моделей звездных атмосфер, рассчитанных Курцем [15] для различных значений температуры и  $\lg g = 4.0$ . Вычисленные им потоки световой энергии,  $F_{\lambda}$ , излучаемой с единицы поверхности звезды за 1 с, предварительно переводились в освещенности,  $f_{\lambda}$ , создаваемые звездой радиуса  $R$  на расстоянии  $d$ , по формуле

$$f_{\lambda} = F_{\lambda} \cdot \left( \frac{\theta_{LD}/2}{2.06265} \cdot 10^{-5} \right)^2 \cdot 3.1416. \quad (1)$$

Перед сравнением вычисленные значения  $f_{\lambda}$  уменьшались на величину межзвездного покраснения с помощью формулы (см. [1])

$$\lg f_{\lambda}^{\text{corr}} = \lg f_{\lambda} - 0.434 \cdot k_{\lambda} \cdot E_{B-V}. \quad (2)$$

Коэффициенты межзвездной экстинкции,  $k_{\lambda}$ , для дальнего ультрафиолета.

( $\lambda < 2740 \text{ \AA}$ ) можно найти в [1], а для видимой и ближней ИК-областей — в работе [16]. Для Веги  $E_{B-V} = 0.01$  [1].

К наблюдаемым данным в диапазоне 3100—10 800  $\text{\AA}$  [7] были добавлены измерения, выполненные в ракетном ультрафиолете,  $\lambda\lambda$  1380—2740  $\text{\AA}$  [1], и данные по измерениям в далекой ИК-области ( $\lambda > 1 \text{ мкм}$ ), полученные в работах [8—10].

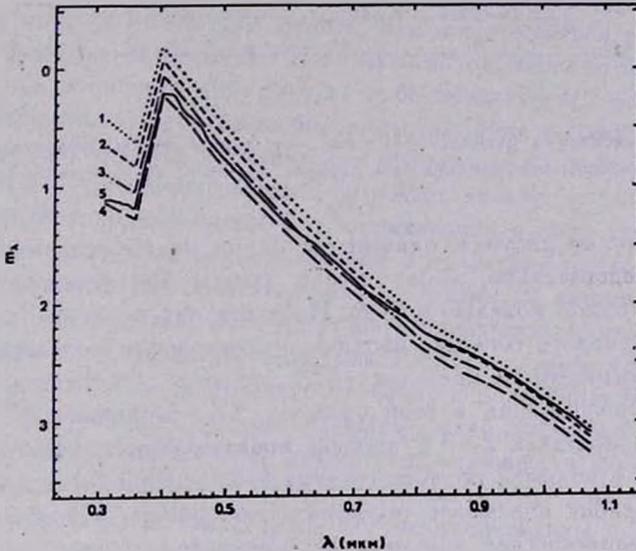


Рис. 1. Абсолютное распределение энергии в спектре Веги. Кривые 1—4 вычислены для  $\theta_{DL} = 3.24 \cdot 10^{-3}$  из моделей атмосферы Курда [15] с  $\lg g = 4.0$  и температурами 11 000 К, 10 500 К, 10 000 К и 9500 К соответственно. Кривая 5 построена по данным измерений [7].

На рис. 1 представлены результаты сравнения (для иллюстрации мы ограничились диапазоном длин волн от 3100 до 10 800  $\text{\AA}$ ). Здесь приведены в звездных величинах расчетные кривые для моделей с различными температурами и эмпирическая кривая. Как видно, для описания наблюдаемых данных очень трудно отдать предпочтение какой-либо модели. Тем не менее, мы попытались подобрать по способу наименьших квадратов такое расчетное распределение, которое дает наилучшее согласие с наблюдаемым. Им оказалось распределение, вычисленное для модели с температурой 9850 К.

На рис. 2 приводятся разности в звездных величинах,  $m_{\lambda}^H - m_{\lambda}^T$ , между эмпирическим распределением ( $m_{\lambda}^H = -2.5 \lg E_{\lambda}$ ) и вычисленным ( $m_{\lambda}^T = -2.5 \lg f_{\lambda}^{\text{corr}}$ ) для модели с этой температурой. Ошибки в вычислениях  $m_{\lambda}^H - m_{\lambda}^T$  из-за погрешности измерений  $E_{\lambda}$  показаны на

рис. 2 в виде „усов“. Разброс значений  $m_{\lambda}^H - m_{\lambda}^T$  из-за неточности измерений углового диаметра показан в виде параллельного смещения оси („нулевой“ разности) на величину, ограниченную прерывистыми линиями.

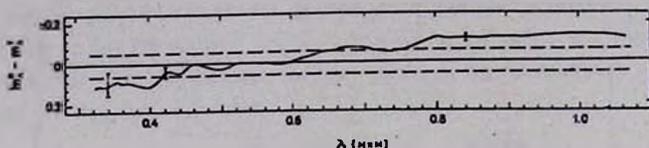


Рис. 2. Зависимость разности  $m_{\lambda}^H - m_{\lambda}^T$  от длины волны. Вертикальными отрезками и пунктирными линиями показан разброс значений из-за ошибок наблюдений и вычислений.

Как видно из рисунка, одними ошибками не объяснить наблюдаемое различие. Следовательно, эмпирические данные во всем диапазоне длин волн описать одной моделью нельзя. Исследования показали, что: 1) в далеком ультрафиолете согласие наблюдаемой кривой и модельной с  $T_{eff} = 9850$  К достигается в пределах  $\pm 7\%$ , то есть с точностью до ошибок измерений и вычислений в этой области; 2) в интервале 3100—4000 Å данные [7] в пределах 2—3% хорошо представляются моделью с  $T_{eff} = 9650$  К; 3) в видимой области спектра (4000—4600 Å) модель с  $T_{eff} = 9850$  К хорошо описывает эмпирическую кривую. Например, при  $\lambda = 5550$  Å теоретическое значение квазимонохроматической звездной величины равно  $1^m085$ , а наблюдаемое —  $1^m079$ ; 4) для значений  $m_{\lambda}^H$  в диапазоне 6500—7500 Å лучше подходит модельное распределение с  $T_{eff} = 10050$  К; 5) в области спектра с  $\lambda > 7500$  Å не приемлема ни одна модель, используемая нами для других диапазонов.

Наши попытки подобрать подходящую модель для списания данных [7] в интервале длин волн 7500—10 800 Å привели нас к следующему выводу: если взять значение  $\theta_{LD} = 3.''48 \cdot 10^{-3}$ , то можно добиться согласия между теоретическими и наблюдаемыми данными при температуре около 9300 К. Однако такое значение углового диаметра является явно завышенным, так как далеко выходит за пределы погрешностей его измерений, даваемых в [12]. Поэтому приходится отказаться от такой интерпретации.

Таким образом, на основании данных [7] эффективная температура Веги должна быть равной  $9850 \pm 200$  К, при этом в распределении энергии в ее спектре в области длин волн, больших 7500 Å, наблюдается избыток излучения порядка 7—10% по сравнению с модельным. С новым значением  $T_{eff}$  можно оценить основные физические характеристики Веги. Они оказываются следующими: ее абсолютная величина  $M_V = 0.^m60 \pm 0.^m16$ , болометрическая величина  $M_{bol} = 0.^m24 \pm 0.^m16$ , логарифм светимости

$\lg L/L_{\odot} = 1.70 \pm 0.07$ . На основании выражения  $\lg M/M_{\odot} = 1.575 \times \lg T_{\text{eff}} - 5.893$ , предложенного в [18], получается  $M = 2.49 \pm 0.08 M_{\odot}$ . Тогда  $\lg g_{\text{дн}}$  оказывается равным  $3.93 \pm 0.06$ .

4. *Общие замечания.* Решающее слово о том, какая из предложенных различными исследователями кривых абсолютного распределения энергии в спектре Веге ближе к реальной, остается не за теорией, а за наблюдениями. И здесь необходимы дальнейшие тщательные измерения.

Однако попробуем все-таки понять, как мог появиться избыток излучения у этой звезды. В дальней ИК-области возрастание потока излучения от Веге можно объяснить [10, 19]: а) либо присутствием более холодной звезды-компонента, которая из-за большого различия в блеске между компонентами не наблюдается в оптическом диапазоне; б) либо тепловым излучением пылевой оболочки, которая окружает звезду.

Невидимый холодный компонент, попадающий в поле зрения при наблюдении Веге, может дать дополнительное излучение не только в дальней, но и в ближней ИК-области спектра. Оценим по нашим данным его температуру. Как известно, Вега имеет пять оптических компонентов [20]. Отличие визуальной звездной величины Веге от самого яркого из них ( $\Delta m_V$ ) составляет  $9.75$ . Такая звезда добавит к излучению Веге в видимой области лишь  $0.02\%$ , что пренебрежимо мало. Если же за избыточное излучение Веге в ИК-области ответственна также эта звезда, то вклад ее излучения в длину волны, скажем,  $9850 \text{ \AA}$  составляет уже  $\sim 8\%$  от излучения Веге, что соответствует разности величин звезды и Веге в данной длине волны  $\Delta m_{9850} = 2.7$ .

Исходя из этих данных, можно сосчитать цветовой индекс невидимой звезды  $C(9850-5550)$ , представляющий собой разность монохроматических звездных величин в длинах волн  $9850 \text{ \AA}$  и  $5550 \text{ \AA}$ , по формуле

$$C(9850 - 5550) = \Delta m_{9850} - \Delta m_V + C(9850 - 5550)_B, \quad (3)$$

где  $C(9850-5550)_B$  — цветовой индекс Веге. (В этой формуле используется равенство  $\Delta m_V = \Delta m_{5550}$ , которое, строго говоря, является приближенным. Это внесет некоторую неопределенность в результат вычислений по формуле (3). Однако, из-за близости длины волны  $5550 \text{ \AA}$  к инфракрасной длине волны системы  $V$ , эта неопределенность незначительна и не превышает  $0.1$ ).

Искомый цветовой индекс звезды-компонента, полученный по формуле (3), равен  $-5.1$ . Из него легко вычисляется отношение монохроматических освещенностей в двух длинах волн, которое оказывается равным

$$E_{9850}/E_{5550} = 1.1 \cdot 10^3. \quad (4)$$

По данным спектрофотометрических наблюдений нормальных звезд поздних спектральных классов, проведенных в Араратской астрофизической экспедиции, можно построить зависимость наблюдаемого цветового индекса от спектрального класса, а, следовательно, от температуры, и по ней оценить температуру невидимого компонента. Эта зависимость приведена на рис. 3 (температура для подклассов взята из [14]). Для самых

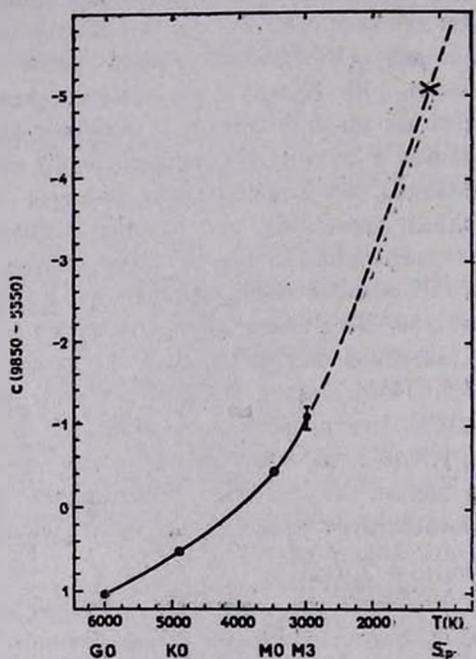


Рис. 3. Зависимость индекса  $C(9850-5550)$  от спектрального класса, или температуры (сплошная линия). Прерывистая линия—ее экстраполяция. Точки — результаты наблюдений. Разброс наблюдаемых значений показан размером точки или вертикальным отрезком. Крестиком указано положение искомого объекта.

поздних подклассов индексы разных звезд сильно различаются (разброс индексов показан на рисунке вертикальным отрезком). Для других подклассов разброс параметров невелик и характеризуется размером поставленной точки. Через наблюдаемые точки проведена сплошная линия, изображающая зависимость цветового индекса  $C(9850-5550)$  от температуры. Продлив эту кривую в область более низких температур (штриховая линия), легко затем определить температуру звезды с индексом  $-5^m1$ . Она оказывается  $\sim 1200$  К. Поскольку используемая нами столь далекая экстраполяция очень груба, то неопределенность этого значения  $\pm 300$  К.

Можно также оценить температуру компонента теоретически. Для этого предположим, что излучение невидимого источника является тепловым

и что на пути до наблюдателя оно не поглощается сколько-нибудь заметно межзвездной средой. Тогда полученное отношение (4) должно равняться отношению монохроматических потоков чернотельного излучения в соответствующих длинах волн. Поэтому, используя формулу Вина, получим, что температура источника  $\sim 1500$  К. Это значение температуры близко к тому значению, которое оценено нами эмпирически.

Итак, невидимый источник ИК-излучения должен быть очень «холодным» объектом. Как известно, такие низкие температуры характерны для протозвезд, окруженных пылевой оболочкой. Протозвезда нагревает частицы пыли до  $\sim 2000$  К во внутренних слоях оболочки и до  $\sim 100$  К — на ее внешней границе [21]. Тепловым излучением пылинок с температурой  $\sim 100$  К неплохо описывается избыточное излучение Веги в области 25—100 мкм [19]. Однако протозвезда обычно окружена еще и молекулярным облаком. Поэтому для подтверждения гипотезы о протозвезде, дающей вклад в излучение Веги, нужны наблюдательные данные о присутствии молекулярных образований в спектре Веги.

Наличие же пылевой оболочки, нагретой до температуры  $\sim 1500$  К, вокруг Веги нам представляется сомнительным, так как в этом случае излучение Веги в ультрафиолетовой и визуальной областях спектра очень сильно поглощалось бы во внутренних частях оболочки, поскольку именно за счет него происходил бы нагрев, а затем и пореизлучение пылинок в ближней ИК-области.

Можно также предположить существование газовой оболочки вокруг Веги, которая излучает в ИК-области за счет свободно-свободных переходов электронов в горячей плазме. Действительно, спектр избыточного излучения (см. рис. 2) очень напоминает спектр тормозного излучения при электронной температуре  $\sim 10^4$  К. Однако при такой температуре более существенную роль в области бальмеровского континуума играет излучение за счет свободно-связанных переходов (см., например, [22]), что должно проявиться в избытке излучения в спектре Веги за бальмеровским скачком. Отсутствие такого избытка ставит под сомнение предположение о существовании газовой оболочки вокруг Веги.

Рассмотренные нами возможные источники избыточного излучения Веги в ближней ИК-области являются локальными. Однако Вега, как уже отмечалось выше, — первичный спектрофотометрический стандарт. Это означает, что величины  $E_\lambda$  исследуемых звезд нельзя получить без знания значений  $E_\lambda$  самой Веги или значений  $E_\lambda$  вторичных стандартов, которые опять же выведены с помощью Веги. Очевидно, что при использовании для Веги как стандарта данных [7], наличие избытка излучения в ИК-области у этой звезды перенесется на результаты измерения величин  $E_\lambda$  всех исследуемых звезд и даст избыток излучения у них по сравнению с

модельными данными. А это означает, что существуют какие-то общие причины, влияющие на непрерывные спектры звезд, и для звезд разных классов они, по-видимому, разные. Именно эти причины, на наш взгляд, играют более существенную роль в избыточном излучении Веги, чем локальные источники излучения. На поиск их и направлен наш дальнейший анализ.

Остановимся сначала на вопросе о возможности существования такого избытка у звезд ранних спектральных классов, в частности, звезд подкласса A0 V, к которому относится Вега. Для некоторых из них мы исследовали непрерывные спектры в ближней ИК-области, полученные в одной из прежних абсолютных систем (использовали данные каталога [23], относящиеся к интервалу длин волн 5500—9000 Å). Для анализа были выбраны три объекта (BS 2421, 5511 и 6629) с известными значениями углового диаметра и колор-экссесса  $E_{B-V}$  (соответственно  $1.45 \cdot 10^{-3}$ ,  $0.59 \cdot 10^{-3}$ ,  $0.62 \cdot 10^{-3}$  и  $0.03$ ,  $0.00$ ,  $0.04$ ). Для каждой звезды были найдены с помощью формул (1) и (2) величины  $\lg f_i^{\text{corr}}$  для различных моделей звездных атмосфер. Сравнивая их с эмпирическими кривыми абсолютного распределения энергии, мы выбрали модели, дающие наилучшее согласие с наблюдательными данными. Оказалось, что распределения энергии в диапазоне длин волн от 5500 Å до 7700 Å в спектрах звезд BS 2421 и 6629 можно описать с точностью 1—2 % моделью с  $T_{\text{eff}} = 9000$  К и  $\lg g = 4.0$ , а в спектре звезды BS 5511 — моделью с  $T_{\text{eff}} = 9400$  К и  $\lg g = 4.0$ . При этом для длин волн  $> 7700$  Å у всех звезд выявляется ИК-избыток  $\sim 7-10\%$ .

Еще один пример. В табл. 1 для нормальных непокрасневших звезд подкласса A0 V приведен цветовой индекс  $X = m(7000) - m(5550)$ , относящийся к длинноволновой области визуального диапазона спектра. Индекс определен из наблюдаемых монохроматических освещенностей  $E_\lambda$  (для  $\lambda\lambda$  5550 Å и 7000 Å), полученных в Чилийской [24] и Араратской астрофизических экспедициях. Результаты представлены в абсолютной системе Оука и Шилда [2]. Здесь же дан соответствующий индекс, рассчитанный для моделей Куруца с минимальной и максимальной для звезд данного подкласса температурами, 9000 К и 10 000 К. Из сравнения наблюдаемых и теоретических значений индекса  $X$  видно, что индекс  $X$  для многих звезд меньше (звезда краснее) минимального значения этого индекса, предсказываемого теорией.

Таким образом, отклонение непрерывных спектров звезд в дальней визуальной и ближней ИК-областях спектра в сторону увеличения потока излучения от того, что дают модели, характерно для звезд данного подкласса (обратим внимание, что три звезды из табл. 1, BS 3314, 5511

и 7001, входят в число шести звезд, которые определяют нуль-пункт цветовой системы  $U-B$ ,  $B-V$  [27]). Очевидно, что использование нового распределения энергии в спектре Веги в качестве стандартного должно усилить этот эффект в других звездах.

Таблица 1

BS	X	BS	X	$T_{eff}$ K	X
1762	0.75	5881	0.75	9000	0.75
3314	0.74	7001	0.76	10000	0.79
3485	0.73	7590	0.76		
5511	0.73	8595	0.69		

Следует заметить (в подтверждение общности проблемы), что наличие избытков излучения в ИК-области спектра в длине волны 12 мкм для звезд классов O, B, A было недавно обнаружено по результатам наблюдений с инфракрасного астрономического спутника (IRAS). В работе [25] показано, что модели Куруца дают недооценку потока в этой длине волны в среднем на 10% для всех звезд спектральных классов O, B, A.

Попробуем теперь качественно объяснить появление ИК-избытка у Веги. Проанализируем данные табл. 2. В первой колонке дан перечень характеристик, которые будут использованы для анализа. Обозначения общеприняты. Во второй приводятся их значения для стандартной звезды A0 V, согласно данным работы [26], а в третьей — для стандартной звезды A0 V, согласно данным [27] и [28]. В последней колонке представлены значения этих же параметров для Веги по литературным [2, 4, 17] и нашим данным (см. разделы 2 и 3).

Таблица 2

Параметр	[26]	[27, 28]	Vera
$T_{eff}$	—	9594 K	9850 K
$(B-V)_0$	$-0^m.01$	$-0^m.02$	$0^m.00$
$(b-y)_0$	$-0.015$	—	$0.01$
$\lg R/R_{\odot}$	0.418	0.350	0.452
$M_V$	$0^m.28$	$0^m.80$	$0^m.60$

Следует отметить, что значение  $M_V = 0^m.70$ , приводимое для стандартной звезды A0 V Алленом [14], лучше согласуется со значением  $M_V = 0^m.80$ , чем с тем значением, которое приводится в работе [26]. Из статистики, используя 103 звезды A0 V с известными значениями

$M_V$ , мы нашли  $M_V = 0^m66 \pm 0^m11$ . Поэтому величина  $M_V = 0.28$  из работы [26], вероятно, является заниженной.

Из данных табл. 2 следует, что у Веги: а) цвета  $(B-V)_0$  и  $(b-y)_0$  оказываются систематически выше стандартных значений (звезда является более покрасневшей); б) радиус явно больше стандартного; в) обнаруживается тенденция располагаться выше на диаграмме Герцшпрунга—Рессела по сравнению со стандартной звездой A0 V.

К этим трем особенностям следует добавить еще одну. Дреллинг и Белл [17], используя спектры с высокой дисперсией, по профилям линии  $H_\gamma$  оценили для Веги значение логарифма поверхностного ускорения,  $\lg g'$ . Оно оказалось равным 3.83, то есть меньше  $\lg g_{\text{стан}} = 3.93$ , которое мы нашли (см. раздел 3). Следовательно, для этой звезды выполняется условие  $\lg g_{\text{ан}} > \lg g'$ .

Интересно, что такие особенности в поведении параметров  $(B-V)_0$ ,  $(b-y)_0$ ,  $R$ ,  $\lg g'$  и  $M_V$  наблюдаются у быстровращающихся звезд [29]. Как результат быстрого осевого вращения у них появляется значительный избыток излучения в ИК-области спектра. Кроме того, быстрое вращение приводит к общему расширению звезды (увеличению радиуса), ослабляет действие силы тяжести в поверхностных слоях, понижает эффективную температуру (звезда становится более покрасневшей), но увеличивает светимость за счет возрастания площади ее видимого диска.

Тогда по аналогии ожидаем, что Вега также является быстрым ротатором с осью, направленной почти вдоль луча зрения. Чтобы убедиться в этом, необходимо хотя бы грубо оценить ее скорость вращения,  $v$ , и угол наклона оси вращения к лучу зрения,  $i$ . Как известно, момент вращения Веги отличен от нуля, так как для нее  $v \cdot \sin i = 17$  км/с [30]. Если воспользоваться значениями  $M$ ,  $R$ ,  $\lg g_{\text{ан}}$  (см. разделы 2 и 3) и  $\lg g' = 3.83$ , то с помощью формул работы [31] находим приближенные значения  $v = 230 \pm 90$  км/с и  $i = 4^\circ \div 7^\circ$ .

Из этих даже очень грубых оценок следует, что Вега — довольно быстро вращающаяся звезда (скорость вращения порядка 68—80% от критической), обращенная к наблюдателю полюсом. Если это соответствует действительности, то вполне становится объяснимым отличие в характеристиках  $(B-V)_0$ ,  $(b-y)_0$ ,  $R$ ,  $M_V$  и  $\lg g'$  Веги от стандартной звезды класса A0 V. Так как более разогретый по сравнению с экваториальными областями полюс обращен к Земле, то несложно понять появление неравенства  $T_{\text{eff}} = 9850 > T_{\text{eff, станд.}}$ .

Следовательно, присутствие внутри Веги значительного количества углового момента качественно дает возможность объяснить появление у нее избытка излучения в ИК-области спектра. Однако, чтобы добиться ко-

личественного согласия, необходимо выполнить более детальные расчеты, используя теорию моделей атмосфер вращающихся звезд (см., например, работу Маедера и Пейтреманна [32]).

Заметим, что для звезд спектрального класса  $A0V$  проекции скорости вращения на луч зрения, в среднем,  $\sim 150$  км/с (см. [33]), то есть наличие ненулевого момента вращения является одним из характерных свойств звезд этого класса. Это тем более относится к звездам более ранних классов, для которых, как известно,  $v \cdot \sin i$ , в среднем, еще больше. Поэтому некоторое увеличение потоков излучения в ближней ИК-области у звезд классов  $O, B, A$  при использовании нового распределения энергии в спектре Веге [7] может быть закономерным проявлением эффекта вращения этих звезд. Учитывая это, надо, по-видимому, иметь в виду, что характеристики стандартной звезды класса  $A0V$ , определенные как средние значения параметров из совокупности звезд, относятся к вращающейся звезде и могут поэтому отличаться от соответствующих параметров, вычисленных для моделей звездных атмосфер.

5. *Заключение.* Итак, подводя итог, можно сделать следующие выводы.

1. Новое абсолютное распределение энергии в спектре Веге [7] соответствует излучению атмосферы звезды с температурой  $T_{eff} = 9850$  К, которая несколько выше значений температуры, приводившихся ранее (см. [15, 17]).

2. В ближней ИК-области спектра Веге обнаружен избыток излучения порядка 7—10% по сравнению с данными, рассчитанными для модели звездной атмосферы Куруца [15] с температурой 9850 К и  $\lg g = 4.0$ .

3. Появление избытка излучения можно качественно объяснить, предположив, что Вега является быстрым ротатором с осью вращения, направленной почти вдоль луча зрения.

Авторы выражают глубокую благодарность А. К. Колесову за ценные замечания при прочтении рукописи.

Главная астрономическая  
обсерватория АН СССР  
Казанский государственный  
университет

## A COMPARISON OF OBSERVED AND THEORETICAL ABSOLUTE ENERGY DISTRIBUTIONS IN THE SPECTRUM OF VEGA

V. P. MEREGIN, E. V. RUBAN

Absolute energy distribution in the spectrum of Vega (3100—10800 Å) measured at the Pulkovo Observatory in comparison with laboratory light source, calibrated in the system of Soviet State Standart, was compared with theoretical distribution, calculated using models of stellar atmospheres. The best agreement is by  $T_{\text{eff}} = 9850$  K. An infrared excess which increased to 7—10% in spectral region 7500—10800 Å, can be explained, if Vega is a high-speed rotator with axis directed to the Earth ( $v \approx 230$  km/c,  $i \approx 4^\circ + 7^\circ$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

1. C. Jamar, D. Macua-Hercot, A. Monfils, G. L. Thompson, L. Houziaux, R. Wilson, Ultraviolet Bright-Star Spectrophotometric Catalogue, ESA SR-27, 1976.
2. J. B. Oke, R. E. Schild, *Astrophys. J.*, 161, 1015, 1970.
3. D. C. Hayes, D. W. Latham, *Astrophys. J.*, 197, 593, 1975.
4. H. Tüg, N. M. White, G. W. Lockwood, *Astron. and Astrophys.*, 61, 679, 1977.
5. А. В. Харитонов, *Астрон. ж.*, 40, 339, 1963.
6. Г. А. Терез, Э. И. Терез, *Астрон. ж.*, 23, 449, 1979.
7. А. А. Архаров, *Бюлл. Абастум. астрофиз. обсерв.*, 67, 25, 1988.
8. D. E. Blackwell, S. K. Leggett, A. D. Petford, C. M. Mauntain, M. J. Selby, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 205, 897, 1983.
9. C. M. Mauntain, S. K. Leggett, M. J. Selby, D. E. Blackwell, A. D. Petford, *Astron. and Astrophys.*, 151, 399, 1985.
10. M. J. Selby, C. M. Mauntain, D. E. Blackwell, A. D. Petford, S. K. Leggett, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 203, 795, 1983.
11. А. А. Архаров, Автореферат диссертации, Ленинград, 1985.
12. R. Hanbury Brown, J. Davis, L. R. Allen, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 167, 121, 1974.
13. E. B. Jenkins, *General Catalogue of Trigonometric Stellar Parallaxes*, New Haven, 1963.
14. К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.
15. R. L. Kurucz, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1, 1979.
16. Л. Лууд, *Публ. Тартуск. обсерв.*, 46, 55, 1978.
17. L. A. Drelling, R. A. Bell, *Astrophys. J.*, 241, 736, 1980.
18. М. А. Свечников, Т. А. Тайдакова, *Астрон. ж.*, 61, 143, 1984.
19. J. Buitrago, E. Mediavilla, *Astron. and Astrophys.*, 148, L8—L10, 1985.
20. D. Hofflett, *Catalog of Bright Stars*, New Haven, 1964.
21. M. G. Wolfire, E. Churchwell, *Astrophys. J.*, 315, 315, 1987.
22. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, 38, 208, 1967.

23. Н. С. Комаров, В. А. Позигун, С. И. Белик, Спектрофотометрия звезд в диапазоне  $\lambda$  550—900 нм. Наукова думка, Киев, 1983.
24. Н. Л. Алексеев, Г. А. Алексеева, А. А. Архаров и др., Тр. ГАО АН СССР, 83, 3, 1978.
25. L. B. F. M. Waters, J. Code, H. H. Aumann, Astron. and Astrophys., 172, 225, 1987.
26. T. Moon, Astrophys. and Space Sci., 117, 261, 1985.
27. В. Страйжис, Многоцветная фотометрия звезд, Мокслас, Вильнюс, 1977.
28. V. Strajzls, G. Kurillone, Astrophys and Space Sci., 80, 353, 1981.
29. V. Doazan, "B-stars with and Without Emission Lines", ed. A. Underhill, part II, NASA SP-456, 1982.
30. A. Uesugi, J. Fukuda, Contr. Inst. Astrophys. and Kwazan Observ. Univ. Kyoto, 189, 205, 1970.
31. В. П. Мережин, Тр. гор. астрон. обсерв. КГУ, 50, 63, 1986.
32. A. Maeder, E. Reytemann, Astron. and Astrophys., 7, 120, 1970.
33. А. А. Боярчук, И. М. Копылов, Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 31, 44, 1964.