

УДК 524.31

Сравнение теоретических моделей атмосферы Веги с результатами наблюдений

Э. И. Терез

Описаны основные модели атмосферы Веги. Показано, что лучшее согласие с экспериментальными результатами автора получено для модели атмосферы Веги с параметрами $T_{\text{эф}}=9570$ К и $\lg g=3.95$. В далекой ИК-области спектра имеются значительные избытки излучения за счет пылевого облака вокруг Веги.

THE COMPARISON OF THE THEORETICAL MODEL ATMOSPHERES OF VEGA WITH THE RESULTS OF OBSERVATIONS, by Terez E. I.— The principal model atmospheres of Vega are described. It is shown that the best agreement with the author's experimental results is obtained for the model atmosphere of Vega with the parameters: $T_{\text{eff}}=9570$ K and $\log g=3.95$. Large radiation excess in the far IR-region is caused by a dusty shell around Vega.

Основным критерием правильности теоретических моделей звездных атмосфер является их соответствие наблюдаемым данным. Однако в настоящее время в этом вопросе нет ясной картины. Между тем очень важно, хотя бы для одной, хорошо изученной звезды провести сравнение вычисленных и экспериментально измеренных потоков в возможно более широкой области спектра. Такое сравнение должно подтвердить правильность используемых методов расчетов моделей звездных атмосфер. С другой стороны, для редукции фотометрических систем необходимо иметь возможность по теоретической кривой стандартной звезды точно рассчитывать кривую реакции, т. е. использовать спектр этой звезды для калибровки в широкой области спектра. Основным общепотребительным первичным стандартом для фотоэлектрической фотометрии является звезда Вега. Поэтому именно для Веги целесообразно провести детальное сравнение полученных экспериментальных результатов с расчетами, выполненными по тем или иным моделям звездных атмосфер.

Пятнадцать лет назад казалось, что абсолютное распределение энергии в спектре Веги наконец-то точно и надежно определено. Шилд, Петерсон и Ок [30], используя: 1) абсолютную калибровку спектра Веги, выполненную Оком и Шилдом [26]; 2) профили бальмеровских линий, измеренные Петерсоном [27]; 3) модели атмосфер Михаласа [24] и Куруча [20], показали хорошее согласие экспериментальных результатов с вычисленными по модели, имеющей параметры $T_{\text{эф}}=9650$ К и $\lg g=4.05$. Шилд, Петерсон и Ок с целью использования Веги как стандарта вычислили теоретические потоки в широком диапазоне длин волн от 0.11 до 20 мкм и привели детальную информацию о многочисленных водородных линиях.

Однако в последние годы получено много новых экспериментальных результатов. Это, прежде всего, новые абсолютные калибровки спектра Веги, выполненные в Смитсоновском институте [18, 19], Ловелловской обсерватории [34] и Симферопольском университете [1, 3]. Измерены с помощью ИСЗ ОАО-2 [12] и TD-1A [23] УФ-потоки, полученные новые данные об ИК-потоках Веги в интервале 1.1—5.5 мкм [4, 6, 31, 32], с помощью спектрофотометров, вынесенных за пределы атмо-

сферы Земли, изучены спектры Веги в УФ-области с высоким разрешением [14, 36].

С другой стороны, Куруч [21] рассчитал новую сетку моделей, учитывающую поглощение в многочисленных линиях металлов. Следует отметить, что хотя в звездах А0 V линии, кроме водородных, очень слабы в видимой области, они достаточно сильны в УФ-области спектра, и учет покровного эффекта увеличивает температуру атмосферы. Куруч предложил характеризовать модель Веги параметрами $T_{эф} = 9400$ К и $\lg g = 3.95$. При этом он оценил неопределенность $T_{эф}$ величиной ± 200 К и $\lg g$ — величиной ± 0.05 .

Рассмотрение кривых распределения энергии в спектре ряда звезд, полученных в ГАИШ [2], подтвердило хорошее согласие с моделями Куруча. В частности, для Веги И. Н. Глушнева считает, что параметры $T_{эф} = 9400$ К и $\lg g = 4.00$, приведенные Куручем, наилучшим образом соответствуют наблюдаемому распределению энергии в диапазоне спектра 320—1080 нм.

Тщательное сравнение экспериментальных результатов с моделями провели Дрейлинг и Белл [13]. Предполагая химический состав Веги подобным солнечному, эти авторы обратили внимание на интенсивности спектральных линий в далекой УФ-области и на профили бальмеровских и пашеновских линий. Они рассчитали серию моделей атмосферы для Веги, имеющих разные $T_{эф}$ и $\lg g$. Для четырех моделей с параметрами: а) $T_{эф} = 9300$ К, $\lg g = 4.0$; б) $T_{эф} = 9650$ К, $\lg g = 3.5$; в) $T_{эф} = 9650$ К, $\lg g = 4.0$; г) $T_{эф} = 10000$ К, $\lg g = 4.0$, выполнены сравнения со следующими экспериментальными результатами: 1) абсолютными потоками на $\lambda = 555.6$ нм и $\lambda = 1040$ нм; 2) относительными потоками излучения на длинах волн 330 и 1080 нм; 3) профилями водородных линий, в том числе, линий P_{α} и P_{β} , и линий серии Брэккетта, измеренными в [4]; 4) кривыми роста для разных элементов, таких как Fe I, Fe II и Ti II; 5) абсолютными потоками и поглощением в линиях в УФ-области; 6) ИК-потоками. Первые два сравнения дают информацию о температуре Веги; что касается третьего сравнения — профилей водородных линий, то следует отметить, что они мало меняются с изменением $T_{эф}$, но являются хорошим параметром для определения $\lg g$; четвертое сравнение устанавливает содержание металлов; пятое дает дополнительную информацию о температуре (эта информация менее надежна, так как больше зависит от вычисленного поглощения в линиях); шестое сравнение дает дополнительную информацию о температуре.

Результаты сравнения показали, что лучше согласуется с наблюдениями модель Веги с $T_{эф} = 9650$ К, $\lg g = 4.0$, что очень близко соответствует модели [30]. Необходимо также отметить, что в [11] рекомендуется для Веги $T_{эф} = 9660 \text{ К} \pm 140$ К. Это значение получено на основе как наземных наблюдений, так и данных ИСЗ ОАО-2. Коррекция УФ-потоков ОАО-2, предложенная в [10], уменьшает величину $T_{эф}$ всего на 40 К.

Остановимся подробно еще на одном сравнении наблюдаемых и вычисленных потоков от Веги, выполненном Ланге и Вингом [22]. Авторы этой работы, проанализировав исследования [13, 21], пришли к выводу, что точность значения $\lg g$ не может быть такой высокой, как это может показаться из сравнения наблюдаемых и вычисленных профилей бальмеровских линий. В дополнение к некоторым неопределенностям в самой теории, возможны ошибки, вызванные присутствием многочисленных слабых линий металлов, не учтенных в теории. В ближней УФ-области за бальмеровским скачком погрешность измеренных потоков от Веги, вероятно, больше, чем приводится авторами этих исследований; потоки же в области 1 мкм больше, чем дают расчеты. Пытаясь объяснить значительное различие результатов работ [13] и [21], Ланге и Винг пришли к выводу, что модель Веги с парамет-

рами $T_{эф} = 9500$ К и $\lg g = 3.90$ все же лучше соответствует имеющимся экспериментальным данным.

В течение последних десяти лет в Симферопольском госуниверситете выполнена новая абсолютная калибровка спектра Веги [1, 3] по методике, принципиально отличающейся от применяемой в США. Ис-

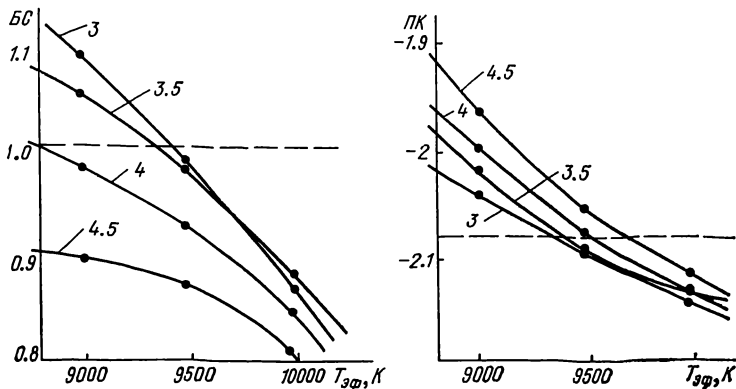


Рис. 1. Зависимость величин бальмеровского скачка (БС) и пашеновского континуума (ПК) от $T_{эф}$ для разных значений $\lg g$ согласно моделям Куруча

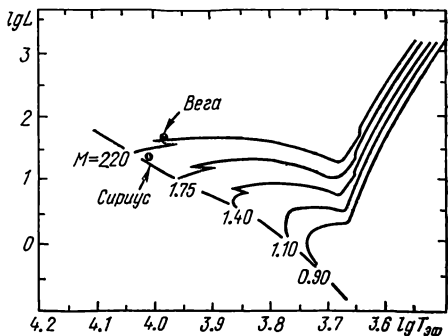
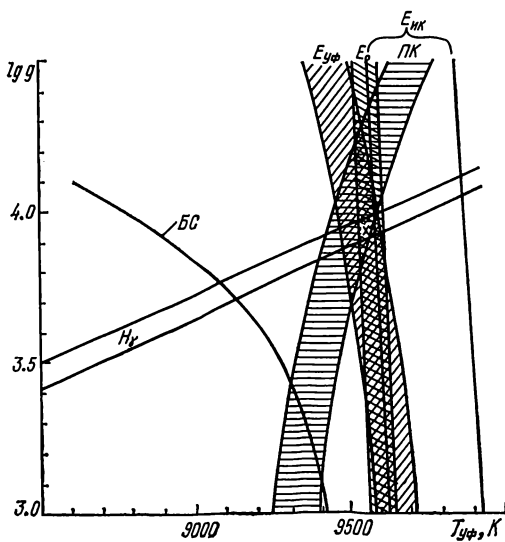


Рис. 3. Положение Веги и Сириуса на диаграмме Герцшпрунга — Ресселя относительно эволюционных треков [33]

определенных по моделям Куруча. Крестиком модели Веги ($T_{эф} = 9570$ К, $\lg g = 3.95$)

пользуя результаты этой калибровки, а также проанализировав работы [13, 21, 22], мы решили еще раз вернуться к вопросу о параметрах атмосферы Веги.

В принципе для определения $T_{эф}$ и $\lg g$ достаточно точно измерить лишь форму кривой относительного распределения энергии в спектре Веги в области 320—800 нм. Воспользуемся в начале упрощенным методом, т. е. информацию о форме спектральной кривой Веги выразим двумя цветовыми коэффициентами: 1) наклоном пашеновского континуума (ПК) (спектрофотометрическим градиентом), 2) величиной бальмеровского скачка (БС). Эти коэффициенты можно определить разностью звездных величин потоков, измеренных в следующих длинах волн (в нм): $ПК = m(423.7) - m(805.0)$; $БС = m(356.2) - m(423.7)$. Эти длины волн приведены в таблицах Куруча, они находятся

Рис. 2. Зависимость экспериментально измеренных параметров Веги от $T_{эф}$ и $\lg g$, отмечены рекомендуемые параметры модели Веги

достаточно далеко от водородных линий и в то же время близки к точкам абсолютных калибровок Веги. Для установления связи между наблюдаемыми величинами ПК и БС и теоретическими значениями $T_{эф}$ и $lg g$ воспользуемся приемом, изложенным в [22]. Используя сетку моделей Куруча, мы построили зависимость ПК и БС от $T_{эф}$ для разных значений $lg g$ (рис. 1). Экспериментально измеренные нами величины ПК и БС показаны штриховой линией. Точки пересечения штриховой линии с теоретическими кривыми ПК и БС дают возможные значения $T_{эф}$ и $lg g$, одновременно удовлетворяющие измеренным величинам ПК и БС.

На другом графике (рис. 2) по полученным значениям $T_{эф}$ и $lg g$, построены кривые, соответствующие экспериментально измеренным минимальным и максимальным величинам ПК и среднему значению БС. Очевидно, что точка пересечения кривых ПК и БС на рис. 2 должна соответствовать оптимальным параметрам $lg g$ и $T_{эф}$ модели Веги. Через эту точку, если она соответствует модели атмосферы, согласующейся с наблюдательными данными, должны проходить кривые и для других параметров, характеризующих спектр Веги. Например, для эквивалентных ширин водородных линий H_{α} , H_{β} , H_{γ} . Профили этих линий были измерены Петерсоном [27]. Позже Грей и Эванс [16] показали, что для линий H_{β} и H_{γ} имеется хорошее согласие с результатами Петерсона. На рис. 2 описанным выше методом построены кривые H_{γ} , соответствующие измеренным Петерсоном минимальным и максимальным значениям (погрешность измерений H_{γ} равна 2 %).

Другими индикаторами температуры являются абсолютные потоки от Веги в видимой, УФ- и ИК-областях спектра. В видимой области при $\lambda=555.6$ нм величина внеатмосферной энергетической освещенности от Веги (по данным [1, 3]) составляет $E_0=3.44 \cdot 10^{-15}$ Дж/с·см²·нм (погрешность ± 1 %). При $\lambda=1040$ нм $E_{ИК}=5.7 \cdot 10^{-16}$ Дж/с·см²·нм (погрешность ± 2 %). Наконец, в УФ-области, по нашему мнению, наиболее точный результат получен для Веги при $\lambda=220$ нм. В этой длине волны измерения ОАО-2 и TD-1А практически совпадают и $E_{УФ}=4.26 \times 10^{-15}$ Дж/с·см²·нм (погрешность ± 5 %). Для того, чтобы перейти от измеренных величин внеатмосферных освещенностей от Веги $E(\lambda)$ к необходимым нам для сравнения с моделями энергетическим яркостям поверхности самой Веги $B(\lambda)$, используем фактор геометрического ослабления $(d/R)^2$, где d — расстояние до Веги, R — радиус Веги. $d/R = 2.06265 \cdot 10^5 \cdot 2/\theta$, где θ — угловой диаметр Веги в секундах дуги, скорректированный за потемнение к краю диска. По данным [17], для Веги $\theta = (3.24 \pm 0.07) \cdot 10^{-3}$, что дает $(d/R)^2 = (1.62 \pm 0.03) \cdot 10^{16}$. Возможные области значений для E_0 , $E_{ИК}$, $E_{УФ}$ показаны на рис. 2. Точка, выбранная в области пересечения всех кривых (рис. 2), должна соответствовать оптимальным величинам $T_{эф}$ и $lg g$. Мы нашли $T_{эф}=9570$ К и $lg g=3.95$.

Какова возможная погрешность этих величин? Прежде всего, из рис. 2 видно, что кривая БС проходит в стороне от всех остальных линий, и она не принималась нами во внимание. Расчет показывает, что при $\lambda=356.2$ нм поток от Веги нужно увеличить на 0.1^m , чтобы кривая БС проходила через точку пересечения остальных линий. Такая величина погрешности калибровки (0.1^m) нереальна. Значит, нужно искать механизм, который уменьшил бы теоретический поток в ближней УФ-области. Заметим, что учет Куручем линий металлов в далекой УФ-области уже значительно понизил потоки в ближней УФ-области за бальмеровским скачком. Если предположить, что остались еще многочисленные слабые неучтенные линии, то теоретические потоки от Веги в этой области спектра должны уменьшиться еще больше.

Выше мы использовали два цветовых коэффициента БС и ПК для характеристики формы спектральной кривой Веги. Чтобы оценить возможные ошибки такого приближения, для полученных значений $lg g =$

$=3.95$ и $T_{эф}=9570$ К были рассчитаны по модели Куруча теоретические потоки $F(\lambda)$ на границе земной атмосферы для крайних длин волн пашеновского континуума 423.7 и 805.0 нм. Получились значения 7.45×10^{-15} и $1.09 \cdot 10^{-15}$ Дж/с·см²·нм соответственно. Измеренные нами величины $F(\lambda)$ для этих длин волн [1, 3] отличаются примерно на 2%. Для других длин волн в этом участке спектра различия теоретических и измеренных потоков будут еще меньше. Отметим при этом, что предположение о наличии неучтенных линий металлов в далекой УФ-области должно увеличить наклон пашеновского континуума и тем самым еще больше сблизить теоретические и измеренные потоки от Веги.

В принципе, зная угловой диаметр звезды и измерив монохроматический поток от нее на границе земной атмосферы, можно определить $T_{эф}$ по методу Блэквелла — Шеллиса [7, 8, 9, 28, 31]. Для Веги получается величина $T_{эф}=9500$ К с погрешностью ± 100 К, возникающей из-за неопределенности в болометрических поправках, и погрешностью ± 100 К, соответствующей ошибке 2% в диаметре звезды. Таким образом, этот метод определения $T_{эф}$ не позволяет увеличить точность.

В работе Ланге и Винга [22] показано, что величина $\lg g$ для Веги может быть рассчитана по угловому диаметру, параллаксу и массе. Массу Веги можно довольно точно оценить по положению звезд на диаграмме Герцшпрунга — Рессела (рис. 3). Масса Сириуса (двойной звезды) хорошо согласуется со значением $2.1 M_{\odot}$. Можно уверенно считать массу Веги равной $2.3 M_{\odot}$, так как она находится на диаграмме ГР по другую сторону эволюционного трека для $M=2.2 M_{\odot}$. Масса $2.3 M_{\odot}$ предполагает, что $\lg g=3.90$. Возможная неопределенность в величине массы $\pm 0.1 M_{\odot}$ соответствует неточности $\lg g$ всего лишь ± 0.02 . Если учесть погрешность 2% в диаметре Веги и возможную ошибку 4% в ее параллаксе, то максимальная погрешность величины $\lg g$ не превосходит ± 0.10 . Таким образом, полученная нами ранее величина $\lg g$, равная 3.95, представляется весьма убедительной. Ошибка ее, по-видимому, не превосходит ± 0.05 .

Вернемся снова к вопросу о возможной ошибке определения $T_{эф}$. Область возможных значений $E_{ИК}$ лежит несколько правее области пересечения кривых ПК, E_0 , $E_{УФ}$ и H_{γ} (рис. 2). Можно было бы объяснить это ошибками калибровки, как это сделано в [22], но, по-видимому, здесь другая причина. Дело в том, что если мы попытаемся построить на рис. 2 кривую для потока при $\lambda=2.20$ мкм или $\lambda=3.80$ мкм (а в настоящее время есть весьма надежные калибровки в этой области [6, 32]), то эти кривые лежат на рис. 2 еще правее. Это говорит о том, что по мере увеличения длины волны в ИК-области у Веги нарастает избыток потока. Отметим, что еще в 1973 г. Моррисон и Симон [25] обнаружили у Веги на $\lambda=20$ мкм избыток потока 0.3^m . (Хотя Герц и др. [15] не заметили отклонений цветов α Луг от цветов других нормальных звезд A0 и A1 в диапазоне 2.3—12.6 мкм.) Удовлетворительно объяснить избыток ИК-излучения можно только одной причиной — пылевой оболочкой вокруг Веги. Недавние наблюдения Веги, выполненные ИСЗ IRAS [29, 35], дали прямые доказательства наличия пылевой оболочки. По данным [29], размеры пылевых частиц — более 1 мкм, (что на три порядка превышает размеры частиц межзвездной пыли), и они нагреваются за счет излучения Веги до 85 К. Диаметр облака пыли составляет около 170 а. е. (22").

Расчеты показывают, что такая пылевая оболочка, имеющая ничтожно малую плотность, не может привести к заметному эффекту поглощения или покраснения цвета. Однако холодная, но протяженная оболочка будет давать значительный вклад в излучение Веги в далекой ИК-области.

Результаты данной работы показывают, что в широкой области спектра 200—1100 нм в качестве спектрофотометрического стандарта с

погрешностью не более 2 % может быть использована теоретическая кривая распределения энергии в спектре Веги с параметрами $T_{\text{эф}} = 9570 \text{ K}$ и $\lg g = 3.95$. Исключение составляет участок бальмеровского континуума $\approx 250\text{--}350 \text{ нм}$. В этой области спектра различие между наблюдаемым и вычисленным распределением энергии в спектре Веги доходит до 10 % и может быть вызвано ошибками как в теоретических, так и в экспериментальных данных.

В далекой ИК-области спектра при $\lambda > 12 \text{ мкм}$ избытки излучения Веги можно удовлетворительно объяснить излучением оболочки с $T = 85 \text{ K}$ [5]. Однако в области 2—12 мкм такое низкотемпературное черное тело не может дать заметного вклада в поток от Веги. Для согласования вычисленных и измеренных потоков в этой области спектра необходимо предположить, что оболочка вокруг Веги неоднородна, и имеются внутренние слои более горячего вещества (с диаметром существенно меньшим, чем 170 а. е.).

1. Архаров А. А., Терез Э. И. Абсолютная калибровка распределения энергии в спектре Веги. II. Инфракрасная область спектра 7500 Å — 11175 Å.— В кн.: Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. Киев: Наук. думка, 1985, с. 65.
2. Глушневa И. Н. Эффективные температуры звезд, использованных в качестве стандартных при создании спектрофотометрического звездного каталога. Сравнение с теоретическими моделями.— Астрон. журн., 1983, 60, № 3, с. 560—573.
3. Терез Э. И. Абсолютная калибровка распределения энергии в спектре Веги. I. Область спектра 3110 Å — 7500 Å.— В кн.: Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел, Киев: Наук. думка, 1985, с. 55—64.
4. Augason G. C., Strecker D. W., Witteborn F. C. et al. Low resolution airborne spectra of Alpha Lyr, Beta Gem, Alpha Boo, Alpha Tau and Alpha Ori in the 1.25 to 4.0 micron spectral region.— Bull. Amer. Astron. Soc., 1977, 9, N 4, p. 635.
5. Aumann H. H., Gillett F. C. Discovery of a shell around Alpha Lyrae.— Astrophys. J., 1984, 278, N 1, p. L23—L27.
6. Blackwell D. E., Leggett S. K., Petford A. D. et al. Absolute calibration of the infrared flux from Vega at 1.24, 2.20, 3.76 and 4.6 μm by comparison with a standard furnace.— Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1983, 205, N 4, p. 897—905.
7. Blackwell D. E., Shallis M. J. Stellar angular diameters from infrared photometry. Application to Arcturus and other stars; with effective temperatures.— Ibid., 1977, 180, N 1, p. 177—191.
8. Blackwell D. E., Shallis M. J., Selby M. J. The infrared flux method for determining stellar angular diameters and effective temperatures.— Ibid., 1979, 188, N 3, p. 847—862.
9. Blackwell D. E., Willis R. B. Stellar gravities from metallic line profiles with application to Arcturus. The effective temperature of Arcturus.— Ibid., 1977, 180, N 1, p. 169—176.
10. Bohlin R. C., Holm A. V., Savage B. D. et al. Photometric calibration of the International Ultraviolet Explorer (IUE) low dispersion.— Astron. and Astrophys., 1980, 85, N 1/2, p. 1—13.
11. Code A. D., Davis J., Bless R. C., Hanbury Brown R. Empirical effective temperatures and bolometric corrections for early type stars.— Astrophys. J., 1976, 203, N 2, p. 417—434.
12. Code A. D., Meade M. Ultraviolet photometry from the Orbiting Astronomical Observatory.— Wisc. Astrophys., 1976, N 30, p. 1—101.
13. Dreiling L. A., Bell R. A. The chemical composition gravity and temperature of Vega.— Astrophys. J., 1980, 241, N 2, p. 737—758.
14. Faraggiana R., Hack M., Leckron D. S. The ultraviolet spectrum of Alpha Lyrae.— Astrophys. J., Suppl. Ser., 1976, 32, p. 501—535.
15. Gehrz R. D., Hackwell J. A., Jones T. W. Infrared observations of Be stars from 2.3 to 19.5 microns.— Astrophys. J., 1974, 191, N 3, p. 675—684.
16. Gray D. F., Evans J. C. Hydrogen lines in A and Ap stars. I. Photoelectric observations.— Ibid., 1973, 182, N 1, p. 147—158.
17. Hanbury Brown R., Davis J., Allen L. R. The angular diameters of 32 stars.— Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1974, 167, N 1, p. 121—136.
18. Hayes D. S., Latham D. W. A rediscussion of the atmospheric extinction and the absolute spectral energy distribution of Vega.— Astrophys. J., 1975, 197, N 3, p. 593—601.
19. Hayes D. S., Latham D. W., Hayes S. H. Measurements of the monochromatic flux from Vega in the near-infrared.— Ibid., 1975, 197, N 3, p. 587—592.
20. Kurucz R. L. Atlas: a computer program for calculating model stellar atmospheres.— Smithsonian Astrophys. Observ. Special Report, 1970, N 309, p. 1—292.
21. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B, O stars.— Astrophys. J., Suppl. Ser. 1979, 40, N 1, p. 1—340.

22. *Lange G. L., Wing R. F.* Calibration of flux distributions.—*Dudley Observ. Reports*, 1979, N 14, p. 263—277.
23. *Malaise D., Gros M., Macau D.* Absolute ultraviolet spectrophotometry from the TD-1 satellite. III. The continuum of A type stars between 1350 and 2500 Å.—*Astron. and Astrophys.*, 1974, 33, N 1, p. 79—86.
24. *Mihalas D.* Balmer-line-blanketed model atmospheres for A-type stars.—*Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 1966, 13, N 114, p. 1—30.
25. *Morrison D., Simon T.* Broad-band 20 micron photometry of 76 stars.—*Astrophys. J.*, 1973, 186, N 1, p. 193—206.
26. *Oke J. B., Schild R.* The absolute spectral energy distribution of Alpha Lyrae.—*Ibid.*, 1970, 161, N 3, p. 1015—1023.
27. *Peterson D. M.* The Balmer lines in early type stars.—*Smithsonian Astrophys. Observ. Special Report*, 1969, N 293, p. 17—199.
28. *Remie H., Lamers H. J.* Effective temperatures and radii of luminous O and B stars: a test for the accuracy of the model atmospheres.—*Astron. and Astrophys.*, 1982, 105, N 1, p. 85—97.
29. *Robinson L. J.* The frigid world of IRAS.—*Sky and Telesc.*, 1984, 67, N 1, p. 4—8.
30. *Schild R., Peterson D. M., Oke J. B.* Effective temperatures of B- and A-type stars.—*Astrophys. J.*, 1971, 166, N 1, p. 95—108.
31. *Selby M. J., Blackwell D. E., Petford A. D., Shallis M. J.* Measurement of the absolute flux from Vega in the band (2,2 μm).—*Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 1980, 193, N 1, p. 111—114.
32. *Selby M. J., Mountain C. M., Blackwell D. E. et al.* Measurement of the absolute monochromatic flux from Vega at 2.20 and 3.80 μm by comparison with a furnace.—*Ibid.*, 1983, 203, N 2, p. 795—800.
33. *Sweigart A. V., Gross P. G.* Evolutionary sequence for red giant stars.—*Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 1978, 36, p. 405—437.
34. *Tüg H., White N. M., Lockwood G. W.* Absolute energy distributions of α Lyrae and 109 Virginis from 3295 Å to 9040 Å.—*Astron. and Astrophys.*, 1977, 61, N 5, p. 679—684.
35. *Walgate R.* Emerging solar systems in view.—*Nature*, 1983, 304, N 5928, p. 681.
36. *Welsh B. Y., Boksenbeg A., Anderson B., Towlson W. A.* High resolution ultraviolet observations of Alpha Lyrae using the University College London balloon borne telescope system.—*Astron. and Astrophys.*, 1983, 126, N 2, p. 335—340.

Симферопольский ун-т им. М. В. Фрунзе,
Симферополь

Поступила в редакцию 24.12.84,
после доработки 19.04.85

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 520.88+519.6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СГЛАЖИВАЮЩЕГО СПЛАЙНА С ЗАДАНЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ АРГУМЕНТА / Андронов И. Л.

(Рукопись деп. в УкрНИИНТИ; № 131 Ук-85Деп.)

Приведены алгоритмы построения сглаживающих кубических сплайн-функций с заранее заданными значениями аргумента. В качестве определяющих параметров используются узловые значения интерполирующего сплайна, определяемые методом наименьших квадратов. Приведены тексты программ на языке ФОРТРАН IV. Рассмотрены вопросы приближения циклических функций; функций, заданных на отрезке; кусочно-гладких функций; случайных функций. Показано, что наименее чувствительным к ошибкам наблюдений является естественный сплайн. Обсуждается зависимость ошибки определения узловых значений от взаимного расположения аргументов аппроксимируемых точек и узлов сплайна. Результаты иллюстрируются приложениями к решению некоторых астрономических задач.