

FG Стрелы в 1981–85 годы: фотометрическая эволюция после прохождения полосы неустойчивости

В.П. Архипова

Фотоэлектрические UVB-наблюдения FG Sge в 1981–85 г. после выхода из полосы неустойчивости проведены в течение 217 ночей на Крымской станции ГАИШ с помощью 60-см рефлектора. Средний блеск звезды продолжал падать. Покраснение спектра за 5 лет увеличилось на $0.^m12$ в показателе цвета B–V и на $0.^m13$ в U–B. После короткого периода неправильной переменности амплитуда колебаний блеска начала расти и увеличилась почти вдвое с 1981 по 1985 г. Средний период сохранился на уровне $\sim 100^d$. Охлаждение звезды продолжалось, однако температура падала значительно медленнее, чем раньше. Уменьшение темпа покраснения звезды, вероятно, указывает на близкую остановку ее спектрального развития. Построен трек звезды на диаграмме температура–светимость. Эволюция звезды с 1960 по 1985 г. идет почти горизонтально, с небольшим подъемом вверх в последние годы. Сравнение наблюдаемого трека с теоретическими расчетами дает оценку массы в $0.6 M_{\odot}$.

FG Sagittae in 1981–85: Photometric Evolution after Instability Strip Passing

by V.P. Arkhipova

Photoelectric UVB observations of FG Sge in the evolutionary stage after passing the instability strip have been made in 1981–85 during 217 nights on 60-cm telescope of Crimean station of Sternberg Institute. The decrease of the mean star brightness was continuing. The reddening of the star has increased by 0.12 in B–V colour and 0.13 in U–B for the last 5 years. The amplitude of brightness oscillations has grown by factor 2 from 1981 to 1985 after the short period of irregular variations. The mean period was maintaining about 100 days. The cooling of the star continued but with a diminished rate, predicting the possible reddening stop in the near future. The observational track of star evolution on the temperature – luminosity diagram was derived. In 1960–85 the star moved almost horizontally to the right and slightly upwards for the last years.

Уникальная переменная FG Sge являет собой беспрецедентный случай звезды, находящейся в стадии вспышки гелиевого оболочечного источника и вследствие этого быстро охлаждающейся.

Эволюция звезды после асимптотической ветви гигантов к белым карликам – завершающей стадии жизни звезд – может идти не с моно-

тонным изменением температуры, а через последовательность гелиевых вспышек в стадии горения оболочечного источника, приводящих к образованию петель на диаграмме Герцшпрунга–Рессела (HR-диаграмме), т.е. кратковременных, $\sim$ сотен лет, охладений (расширений) звезды и последующих сжатий. Расчеты Пачинского (1970, 1971), Кристи–Сакман и Деспен (1974), Харма и Шварцшильда (1975), Ибоня (1984) и др. показали, что вспышек может быть одна или несколько, каждая продолжительностью 10^2 – 10^3 лет, с периодом между вспышками $5 \cdot 10^3$ – 10^4 лет; во время вспышки звезда движется на HR-диаграмме по очень узкой петле. Положение петель зависит от массы звезды.

При движении звезды по петле, захватывающей полосу неустойчивости, возникают пульсации. FG Sge прошла полосу неустойчивости в 1973–79 годы (Архипова, 1982). При пересечении полосы неустойчивости период колебаний звезды увеличивался прямо "на глазах", так как длительность каждого последующего цикла отличалась от предшествующего на 3–5 суток. Период колебаний возрос от 50^d в 1973 до 114^d в 1979 г. Температура звезды за этот период упала примерно на 1000° .

Далее сообщаются результаты фотометрических наблюдений FG Sge за период 1981–85 годов после выхода звезды из полосы неустойчивости. Показано, что темп покраснения звезды существенно снизился, хотя звезда еще, по-видимому, не остановилась в спектральной эволюции. Это означает, что петля, описываемая звездой на HR-диаграмме, пройдена почти до конца и в ближайшие годы следует ожидать нового процесса эволюции – сжатия звезды и повышения ее температуры. Положение петли на HR-диаграмме, описанной FG Sge, позволит, вероятно, сделать более достоверную, чем до сих пор оценку массы.

41. Изменения блеска и показателей цвета FG Sge за период 1981–85 годов.

В указанный период времени фотоэлектрические UVV наблюдения FG Sge продолжались с тем же оборудованием, что и раньше (Архипова, 1971, 1975); использовался 60-см телескоп Крымской станции ГАИШ с автоматизированным фотометром конструкции В.М. Лютого. В наблюдениях, помимо автора статьи, участвовали Р.И. Носкова, Г.В. Зайцева, а также Ю.В. Ворошилов и М.В. Савельева. Всем им автор выражает глубокую благодарность. Основной звездой сравнения была, по-прежнему, BD+19°4319 (х на поисковой карте Архиповой, 1975).

Внутренняя точность определения величин V и B–V составляла $\pm 0^m.005$ и $\pm 0^m.007$ соответственно, показателя цвета U–B $\pm 0^m.01$. Наблюдения проводились с диафрагмой $27''$.

Всего за 1981–85 г. за 217 ночей наблюдений получено 323 оценки блеска. Напомним, что эта оценка, как и раньше, включает спутник 14^m , расположенный в $8''$ от FG Sge, и значительную часть туманности Нс 1–5, окружающей звезду. Вклад спутника и туманности в интег-

ральный блеск в диафрагме 27" незначителен, хотя и несколько увеличился из-за ослабления звезды. Его оценка дана в работе Архиповой (1971).

Средние за ночь значения V , $B-V$ и $U-B$, вместе с числом оценок за ночь, приводятся в таблице 1. Кривые блеска FG Sge в 1981–85 годы даны на рис. 1.

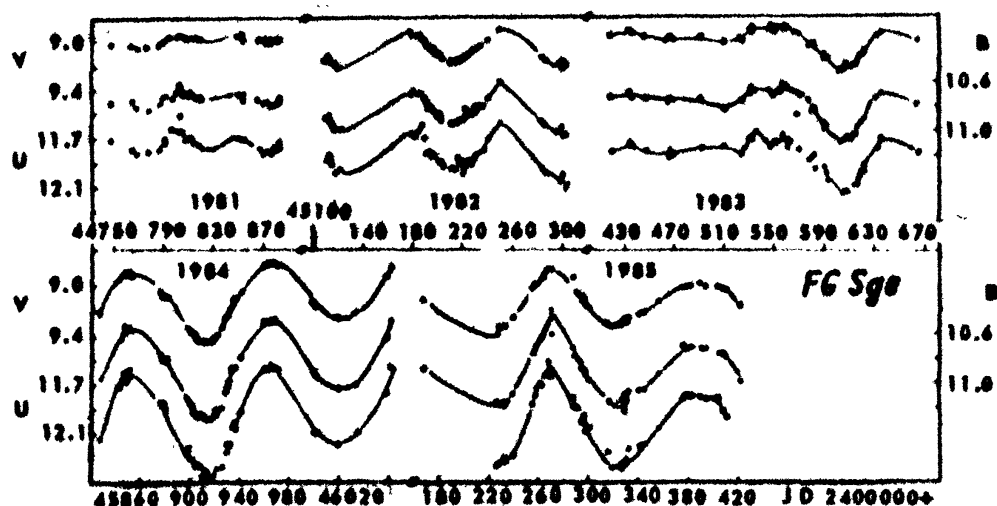


Рис. 1. Кривые блеска FG Стрелы в 1981–85 г.

В 1981 г. амплитуда изменения блеска во всех трех лучах была сравнительно малой. В 1982 г. она увеличилась, а в 1983 г. после периода затишья продолжительностью ~ 100 дней появились колебания с амплитудой до $0^m.5$ в лучах B , в 1984 г. амплитуда возросла до $0^m.7$ и сохранилась такой же в 1985 г. За этот период наблюдалось 6 хорошо выраженных минимумов блеска: JD 2445123, 45212, 45602, 45912, 46022, 46320. Моменты максимумов: 2445180, 45255, 45852, 45966, 46268, 46390: — определяются, вообще говоря, менее надежно из-за недостаточного хорошего покрытия их наблюдениями. В 1984 и 1985 г. изменения блеска имели симметричные кривые, однако последовательные циклы различались амплитудой: за колебанием с большой амплитудой непосредственно следовала волна меньшей амплитуды. Максимальные амплитуды изменения блеска в 1981–85 годах приведены в таблице 2, вместе с величиной $\Delta(B-V)/\Delta V$, характеризующей пульсационные свойства звезды. Величина $\Delta(B-V)/\Delta V$ в 1982–85 годы составляет около $0^m.3$ и заметно отличается от того, что было в 1976–80 годы, когда она в среднем была близка к 1, но убывала со временем. Изменения блеска U отстают по фазе от блеска V примерно на 5–10 дней. Это хорошо выражено в минимумах 1982 и 1984 годов.

Что касается периодичности колебаний, то в рассматриваемый период FG Sge имела цикл около 100 дней. Используя моменты минимумов и максимумов блеска, приведенные в таблице 3, мы нашли период 100^d для всего интервала наблюдений, однако в интервале JD 45120–

650 лучше подходит период 97^d , а в интервале времени JD 45850–46390 период 103^d . Величины O–C для периода $P=100^d$ в интервале JD 45000–46300 приводятся в 3 и 6 столбцах таблицы 3. Если же вычислять период как время между двумя соседними максимумами или минимумами, то мы получим несколько другие результаты: в 1982 г. период был 90^d (три последовательных минимума), 111^d – 116^d в 1984 (два min и два max), 102^d – 110^d в 1985 году.

Итак, в среднем период колебаний FG Sge в 1982–85 годы был около 100 дней, но колебался от цикла к циклу в пределах $\pm 10^d$. После выхода звезды из полосы неустойчивости период уменьшился в сравнении с его максимальным значением, наблюдавшимся при пересечении красной границы полосы, и сохранялся в течение последних лет примерно постоянным. Однако сразу после пересечения низкотемпературной границы полосы неустойчивости в течение 1980–81 годов амплитуда переменности блеска сильно уменьшилась и периодичности колебаний, как и их самих, строго говоря, не было; периодичность восстановилась лишь в 1982 году.

Средние годовые значения блеска и показателей цвета FG Sge приводятся в таблице 1а. Сопоставление их с данными предшествующих лет (Архипова 1975, 1982), показывает, что блеск звезды продолжал падать во всех лучах системы UBV. С 1980 по 1985 г. падение блеска V составило $0^m.15$, $0^m.25$ в B, около $0^m.4$ в U. Кривые блеска, представляющие изменение среднегодовых значений за период фо-

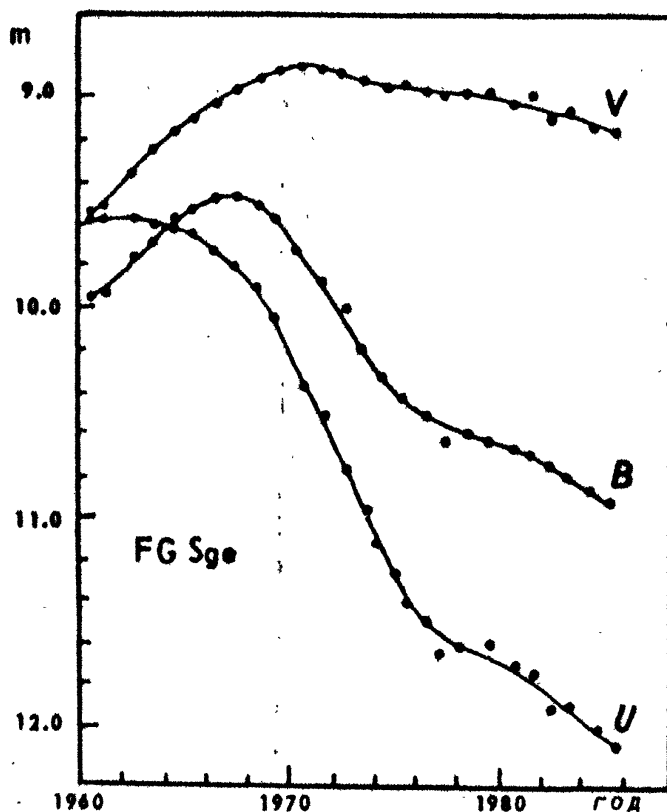


Рис. 2. Изменение среднегодовых значений V, B, U в 1960–85 гг.

тоэлектрических наблюдений FG Sge, представлены на рис. 2. По отношению к максимуму звезда ослабела в V на $0^m.25$, в B — на $1^m.4$.

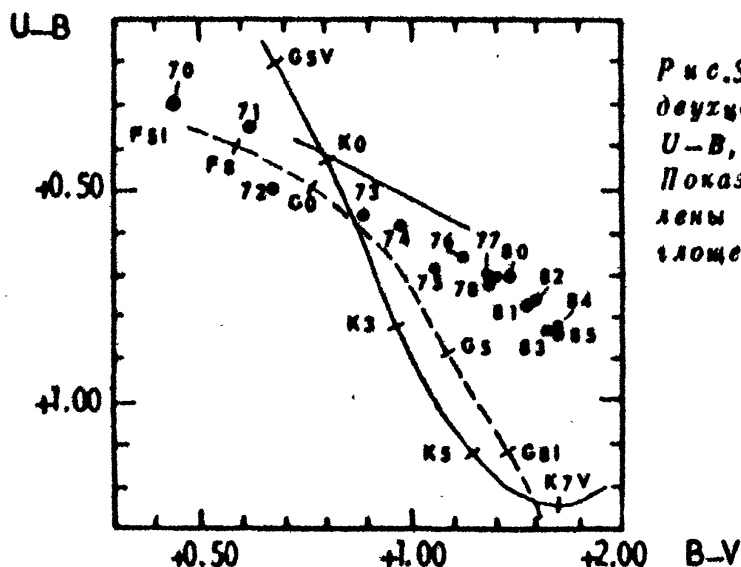


Рис.3. Трек FG Sge на двухцветной диаграмме U-B, B-V в 1970–85 гг. Показатели цвета исправлены за межзвездное поглощение света.

Покраснение звезды продолжало увеличиваться в 1981–85 годы, хотя и существенно медленнее, чем раньше. За 5 последних лет показатель цвета B-V увеличился на $0^m.12$, U-B — на $0^m.13$. Трек FG Sge на двухцветной диаграмме U-B, B-V показан на рис. 3, где нанесены исправленные за межзвездное поглощение света среднегодовые значения показателей цвета. Избыток цвета принят равным $E(B-V) = -0^m.4$ согласно Хербигу и Боярчуку (1968), Хаули и Миллеру (1978) и Купо и Лейбовиц (1979). Недавно в нашей работе (Архипов и др., 1983) была получена еще одна оценка межзвездного поглощения света туманности He 1–5, исходя из данных радионаблюдений. Вендкер (1978) измерил плотность потока радиоизлучения туманности на частоте 10 ГГц равной $S_\nu = (8 \pm 4) \cdot 10^{-29}$ Вт/м²Гц. Поток излучения в линии H β в площадке туманности размером $4'' \times 2''$ был измерен Хаули и Миллером и равен $F(H\beta) = 1.25 \cdot 10^{-14}$ эрг/см²с. Полный поток в H β , вычисленный в предположении однородной яркости диска He 1–5, равен $1.0 \cdot 10^{-12}$ эрг/см²с. Однако поверхностная яркость туманности явно растет к центру. Согласно Фолкнеру и Бэсселю (1970) средняя поверхностная яркость He 1–5 в красных лучах равна $m_R = 11.7 \pm 0.3$ м/п', что при радиусе $16''$ дает интегральную величину $R = 13.3$ или $8.4 \cdot 10^{-12}$ эрг/см²с. В полосе R основными вкладчиками в излучение туманности являются линии H α и [N II], остальные линии и континуум мало существенны. Средняя суммарная интенсивность [N II] по отношению к H α равна 1.6 (Хаули, Миллер, 1978; Купо, Лейбовиц, 1979). Отношение интенсивностей линий H α и H β $\frac{F(H\alpha)}{F(H\beta)} \approx 4.45$ по тем же работам. Это дает наблюдаемый поток в линии H β , вычисленный с помощью данных о поверхностной яркости туманности, $F(H\beta) = 7.3 \cdot 10^{-13}$ эрг/см²с, что не сильно отличается от

вычисленного выше, в предположении однородного диска. Из наблюдаемого отношения $S_V/F(H\beta) = 1.1 \cdot 10^{-13} - 0.8 \cdot 10^{-13}$ получим межзвездное поглощение в линии $H\beta$ $A(H\beta) = 1^m.4$ и $E(B-V) = 0.36$, что хорошо согласуется с оценками поглощения света по бальмеровскому декременту туманности.

12. Эволюция FG Sge на диаграмме температура—светимость.

Показатели цвета $B-V$ и $U-B$ FG Sge, по-видимому, в значительной степени отягощены покровным эффектом и не являются температурными индикаторами сейчас, как и в предшествовавшие годы (Архипова, 1982). Температура звезды, приписанная в соответствии с $(B-V)_0$, систематически, почти на 1000° ниже, чем по распределению энергии в континууме в визуально-фотографической области спектра. На это указывает расхождение оценок спектрального класса по UBV -показателям цвета и другим критериям. В 1979–80 г. Акер, Яшек и Глейзес (1982) оценили спектральный класс FG Sge как G8–K0 I. Последующие наблюдения спектра в 1982 году (Акер, 1983), в том числе континуума звезды, показали, что спектральный класс практически не изменился. Акер считает, что звезда после 1980 г. больше не охлаждается. Однако наши фотометрические данные показывают, что покраснение продолжает увеличиваться, хотя и более медленно, а блеск падает с такой же примерно скоростью, как и раньше. Несмотря на то, что покровный эффект сильно искажает показатели цвета FG Sge, определенная часть тренда показателей цвета со временем, безусловно, связана с температурой. Исходя из этого, мы приняли, что температура звезды в 1981–85 годы все еще продолжала падать, но с существенно меньшей скоростью. Изменение температуры звезды было экстраполировано от данных 1975–77 годов, полученных Стоуном (1979) по непрерывному спектру FG Sge. В интервале 1981–85 годов изменение температуры принято равным 500° , тогда как за предшествующие 5 лет оно составило 800° . В 1970–77 годы согласно Стоуну, эффективная температура звезды падала линейно со скоростью $310^\circ/\text{год}$, тогда как Кохен и Филиппс (1980) нашли уменьшение скорости охлаждения в 1975–78 годы до $170^\circ/\text{год}$. Исходя из этих данных и привлекая данные UBV -фотометрии, мы приняли еще меньшую скорость охлаждения в последние 5 лет. В табл. 4 приведены данные, необходимые для определения положения наблюдаемого трека FG Sge на диаграмме температура—светимость. Во 2–4 столбцах приводятся среднегодовые сглаженные в соответствии с рис. 2 значения V_0 , $(B-V)_0$, $(U-B)_0$, а в 5–6 столбцах — принятые T и вычисленные M_{bol} . Болометрические поправки были взяты как среднее из данных Крафта (1961) для цефеид и Аллена (1977) для сверхгигантов I класса. Величины M_{bol} вычислены по M_V , для определения которого использовалось значение расстояния до звезды $r = 2600$ пс (Уитни, 1978). Это расстояние является нижним пределом современных его оценок, поэтому величины M_{bol} следует рассматривать как минимальную оценку светимости FG Sge.

В последнем столбце табл. 4 приведена оценка спектрального класса по континууму с использованием зависимости T , S_p для сверхгигантов, взятой как среднее между шкалами температур Джонсона (1966) и Флауэра (1977). Принятая зависимость T , S_p приводится в табл. 5.

Оценка спектрального класса FG Sge по распределению энергии в непрерывном спектре всегда, как правило, была более ранней, чем по другим критериям. Следует также отметить, что спектральный класс FG Sge получается более ранним, если использовать данные об ее излучении в красной и инфракрасной области спектра. Так, еще Уитни обратил внимание, что если судить по показателям цвета $V-R$, $R-I$, спектральный класс FG Sge в 1977 г. был на 0.8 класса более ранним, чем по $B-V$, и на 0.5 класса меньше оценки по континууму. Инфракрасная фотометрия звезды, выполненная Тарановой в 1985 г., дает по ИК диапазону (1.6–3.5 мкм) оценку G5 или даже раньше. Все это указывает на трудности спектральной классификации FG Sge и возможное присутствие аномального бланкетирования и в визуальной области спектра (в полосе V). Если так, то и оценки температуры по континууму (вернее, по квазиконтинууму) из-за наличия огромного количества линий поглощения α -элементов, вынесенных на поверхность звезды в результате перемешивания (Лангер, Крафт, Андерсон, 1974) не могут считаться достаточно надежными.

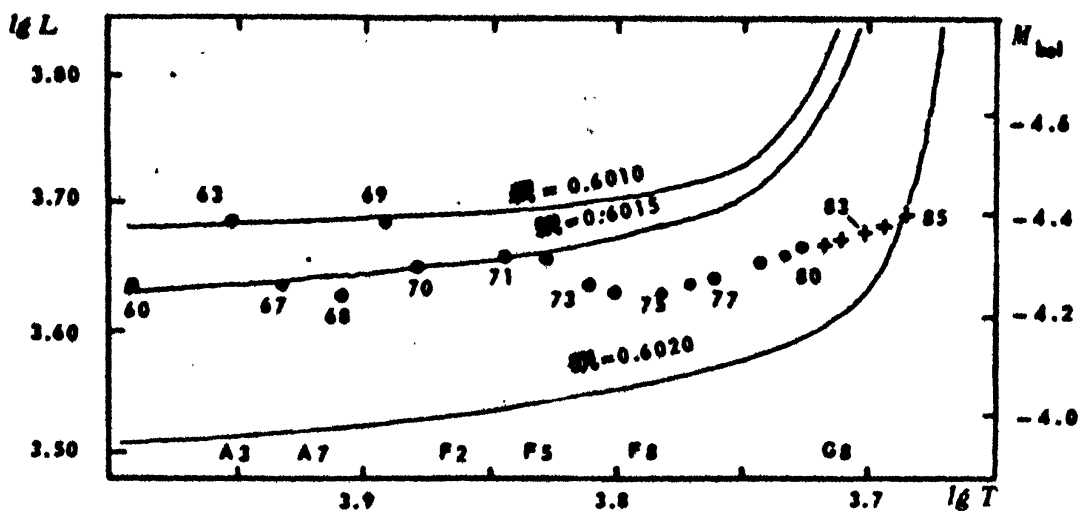


Рис. 4. Наблюдаемый эволюционный трек FG Sge на диаграмме температура–светимость за период 1960–85 гг. Сплошные линии – теоретические кривые эволюции звезд с массой M согласно Ибено

Имея это в виду, мы тем не менее попытались построить трек, пройденный звездой за период 1960–85 годы, на диаграмме температура–светимость. Он изображен на рис. 4. Сплошные линии показывают теоретические эволюционные треки звезд с массой около $0.6 M_{\odot}$, вычисленные Ибеном (1984). Движение FG Sge по диаграмме происхо-

лит примерно горизонтально вправо и с 1977 года — слегка вверх. Отметим, что в отличие от результата предыдущей нашей работы (Архипова, 1982), мы приняли здесь более пологий ход температуры со временем. Наибольшая неопределенность трека связана со светимостью звезды. Последняя зависит от принятого расстояния.

Расстояние 2600 пс, принятое нами выше, основано на применении трех способов оценки расстояний, каждый из которых сам по себе не является достаточно надежным, однако сходимость результатов, полученных этими методами, оказалась удивительной хорошей: $\tau=2500$, 2600, 2750 пс (Уитни, 1978). Мы сделали попытку переопределить расстояние, исходя из оптических и радионаблюдений туманности Не 1-5. Принимая угловой диаметр $2\theta=32''$ и $F(\text{H}\beta)=8 \cdot 10^{-13}$ эрг/см²с и считая, что туманность имеет массу, типичную для планетарной, найдем $\tau=4100$ пс, если взять шкалу расстояний планетарных туманностей среднюю между шкалой Акер (1978) и Кудворса (1974). Использование радиоданных дает другую оценку τ . В шкале радиорасстояний планетарных туманностей Милна (1982) расстояние до FG Sge получается равным 3100 пс, что дает $M_{\text{bol}}=-4^{\text{m}}86$.

Следует, однако, заметить, что применение к туманности Не 1-5 методов, разработанных для стационарных планетарных туманностей, является, строго говоря, незаконным. Туманность находится в фазе рекомбинации, т.к. источник ионизации сейчас отсутствует. Эта фаза началась не позднее 80-90 лет назад. При электронной плотности $n_e=400$ см⁻³, оцененной в современную эпоху по линиям [N II], время рекомбинации составляет около 100 лет. Как показывают расчеты Тылленды (1980) и Харрингтона и Марионни (1976), при рекомбинации быстрее меняются интенсивности запрещенных линий, чем разрешенных. Падение интегрального потока и поверхностной яркости, вызванное рекомбинацией, конечно, влияет на определение расстояния, но т.к. поток входит в степени $1/5$, то ошибка не должна быть значительной.

Из-за неточности расстояния трек FG Sge на диаграмме температура-светимость может находиться по оси $1g L$ в интервале 3.6-4.1, однако поднять его еще выше по оси $1g L$ в настоящее время нет достаточных оснований. Вследствие этого остается расхождение между наблюдаемым и теоретическим периодом пульсации. Фадеев (1982) нашел расстояние до FG Sge 4800 пс, используя теоретическую связь между массой ядра гиганта асимптотической ветви, интервалом времени между гелиевыми вспышками в нем и возрастом туманности. Светимость FG Sge была оценена им также при сравнении наблюдаемого и теоретического изменения периода пульсаций в период 1972-80 гг. Она получилась равной $1g L=4.29$. Оценки светимости звезды Фадеевым дают $1g L$ вне интервала, указанного выше, однако они содержат целый ряд серьезных предположений об эволюционном статусе звезды.

В целом надо признать, что расстояние до FG Sge и ее светимость известны в настоящее время ненадежно, поэтому положение на-

блюдаемого трека на HR – диаграмме имеет неопределенность 0.3 в единицах $I_g L$ около среднего $I_g L = 4.0$. Более прямые методы оценки расстояния дают $r = 4000 - 2500$ пс, тогда как косвенные с привлечением теории звездной эволюции увеличивают его до 4800 пс. Уточнение расстояния до FG Sge является первоочередной задачей будущих исследований.

Несмотря на неточность знания светимости звезды, наблюдения вполне достоверно показывают, что звезда движется почти горизонтально на диаграмме $I_g L, I_g T$ с небольшим подъемом вверх в последние несколько лет. Этот трек качественно согласуется с расчетами звездной эволюции в стадии горения двойного оболочечного источника. Время, за которое звезда прошла путь от спектрального класса B4 I до G8-K0 I, составляет около 30 лет. Экстраполяция к более высоким температурам, когда FG Sge была возбуждающим ядром планетарной туманности He 1-5, не очень надежна, но, считая, что начало векового подъема блеска совпадает с началом охлаждения, время движения по треку от спектрального класса O до K будет ≥ 90 лет.

Масса звезды может быть определена по положению трека на HR – диаграмме. Расчеты Ибена (1982) эволюции звезды после асимптотической ветви гигантов, показывают сильную зависимость положения и характера петель от массы звезды. Так, с ростом M от 0.6005 до 0.6025 петля укорачивается и ее сторона, описывающая расширение звезды, опускается вниз по оси $I_g L$. Из треков Ибена ближе всего по светимости к FG Sge трек с $M = 0.6015$, однако наблюдаемый и теоретический трек плохо согласуются в деталях.

Заключение.

В 1980–85 годы FG Sge находилась вне полосы неустойчивости, выйдя из нее, и продолжала охлаждаться. Однако скорость охлаждения существенно меньше, чем в предшествующие годы. За 5 лет покраснение звезды увеличилось на 0.^m12 в B–V и на 0.^m13 в U–B. Блеск продолжал падать в лучах U, B, V. Есть основания предполагать, что в ближайшие годы охлаждение звезды остановится и фаза расширения сменится фазой сжатия. Если опираться на теоретические расчеты Ибена, FG Sge должна перед этим снова подняться по асимптотической ветви с повышением светимости на 0.3 в $I_g L$ при постоянной температуре.

По мере удаления от низкотемпературной границы полосы неустойчивости звезда постепенно увеличивала амплитуду колебаний, сохраняя продолжительность цикла в пределах 90–110^d. Максимальная амплитуда наблюдалась в 1984–85 годы, составляя 0.^m7 в системе B.

Таблица 1
Фотоэлектрические UBV наблюдения FG Sge в 1981–85 годы

JD 24...	V	B–V	U–B	n	JD 24...	V	B–V	U–B	n
44747	9.03	+1.66	+1.01	1	44786	9.03	+1.68	+1.08	2
764	9.03	1.66	1.08	1	789	9.01	1.64	1.06	1
768	9.05	1.69	1.06	1	790	9.00	1.66	1.07	1
777	9.04	1.72	1.04	1	796	8.97	1.65	0.99	2

Таблица 1 (продолжение)

JD 24...	V	B-V	U-B	n	JD 24...	V	B-V	U-B	n
44801	8.98	+1.66	+1.01	2	45424	8.98	+1.68	+1.14	2
803	8.95	1.60	0.96	5	436	8.98	1.70	1.12	1
805	8.96	1.66	1.01	2	447	9.00	1.71	1.14	1
806	8.97	1.67	1.07	1	465	9.04	1.71	1.16	1
809	8.98	1.66	1.06	1	467	9.02	1.71	1.12	2
812	8.97	1.65	1.07	1	469	9.04	1.70	1.13	1
813	8.97	1.67	1.08	1	492	9.02	1.71	1.09	1
818	8.99	1.67	1.09	2	510	9.07	1.74	1.01	1
820	8.99	1.68	1.11	1	523	9.04	1.72	1.12	1
849	8.96	1.67	1.06	1	525	9.06	1.69	1.07	2
853	8.94	1.68	1.09	1	530	8.97	1.72	1.06	1
854	9.01	1.68	1.03	1	531	8.99	1.68	1.09	1
866	8.99	1.68	1.11	1	532	8.95	1.68	1.09	1
870	9.01	1.70	1.13	1	535	8.96	1.69	1.03	1
871	9.00	1.71	1.12	2	546	8.96	1.71	1.15	2
872	9.04	1.66	1.11	2	548	8.94	1.75	1.12	2
876	9.02	1.71	1.11	3	550	8.98	1.74	1.07	2
877	9.00	1.73	1.05	1	551	8.96	1.73	1.09	1
881	9.02	1.69	1.08	2	552	8.94	1.73	1.12	2
882	9.00	1.67	1.06	1	553	8.95	1.72	1.11	2
883	9.01	1.69	1.09	4	557	8.93	1.68	1.11	1
45110	9.17	1.67	1.04	2	558	8.96	1.69	1.11	4
113	9.13	1.69	1.03	2	559	8.93	1.70	1.13	2
114	9.18	1.68	1.04	3	560	8.96	1.69	1.18	3
115	9.19	1.70	1.03	2	563	8.96	1.71	1.11	2
117	9.21	1.73	1.06	1	568	8.99	1.69	0.89	2
121	9.23	1.71	1.02	2	571	9.01	1.70	1.14	2
179	8.94	1.71	1.04	1	578	9.10	1.65	1.17	1
180	8.97	1.65	1.06	1	580	9.09	1.74	1.08	2
185	8.98	1.67	1.02	2	581	9.00	1.72	0.99	2
187	8.98	1.67	0.96	2	583	9.11	1.72	1.13	1
189	9.02	1.67	0.98	1	590	9.18	1.74	1.07	1
190	9.04	1.68	1.02	2	591	9.20	1.77	1.07	1
192	9.07	1.70	1.08	1	592	9.20	1.75	1.15	1
194	9.07	1.69	1.08	3	604	9.30	1.78	1.13	1
196	9.10	1.69	1.08	2	605	9.29	1.79	1.12	1
197	9.10	1.70	1.06	1	606	9.28	1.79	1.11	2
201	9.13	1.71	1.07	1	607	9.24	-	-	1
202	9.14	1.68	1.10	2	608	9.27	1.79	1.15	2
203	9.16	1.70	1.09	2	611	9.28	1.79	-	1
204	9.17	1.70	1.08	1	614	9.26	1.76	1.12	3
211	9.20	1.69	1.08	2	615	9.27	1.76	1.12	2
212	9.18	1.72	1.02	2	617	9.21	1.75	1.13	1
213	9.20	1.68	1.03	2	619	9.19	1.74	1.11	3
214	9.20	1.69	1.12	2	620	9.19	1.72	1.13	1
217	9.18	1.68	1.02	2	622	9.15	1.74	1.07	1
218	9.18	1.68	1.05	2	632	9.02	1.71	1.11	1
219	9.17	1.69	1.06	2	635	9.00	1.70	1.06	1
220	9.18	1.69	1.16	2	665	9.07	1.72	1.09	1
221	9.17	1.70	1.1	2	824	9.21	1.75	1.18	1
223	9.14	1.64	-	1	844	8.95	1.68	1.09	1
224	9.15	1.69	1.08	2	847	8.90	1.67	1.07	2
226	9.14	1.68	1.07	1	848	8.87	1.65	1.06	1
228	9.12	1.71	1.11	2	850	8.89	1.67	1.11	1
229	9.12	1.69	1.08	2	851	8.88	1.66	1.04	1
230	9.11	1.67	1.08	1	852	8.90	1.66	1.06	2
234	9.08	1.68	1.08	2	876	9.03	1.71	1.11	1
236	9.07	1.68	1.07	2	877	9.07	1.71	1.07	1
240	9.03	1.66	1.05	1	879	9.07	1.72	1.08	1
250	8.95	1.61	1.04	1	880	9.07	1.71	1.06	1
284	9.17	1.72	1.10	1	881	9.08	1.71	1.10	1
286	9.18	1.73	1.11	1	898	9.33	1.77	1.16	1
297	9.23	1.75	1.10	1	900	9.35	1.78	1.07	1
300	9.20	1.73	1.09	1	903	9.39	1.78	1.11	3
301	9.20	1.75	1.10	1	904	9.42	1.80	1.14	1
303	9.18	1.75	1.06	1	905	9.38	1.84	1.12	1
418	9.00	1.70	1.15	1	906	9.44	1.81	1.09	2

Таблица 1 (окончание)

JD 24...	V	B-V	U-B	n	JD 24...	V	B-V	U-B	n
45909	9.44	+1.82	+1.10	2	46258	8.99	+1.69	+1.10	1
910	9.43	1.80	1.21	1	260	8.98	1.67	1.07	1
911	9.43	1.84	1.16	1	262	8.95	1.68	1.08	1
912	9.44	1.82	1.15	2	263	8.95	1.66	1.10	1
913	9.44	1.84	1.11	1	265	8.92	1.64	1.08	1
917	9.44	1.84	1.18	2	267	8.87	1.66	1.06	1
920	9.41	1.84	1.18	2	268	8.87	1.62	1.02	2
922	9.40	1.80	1.18	1	271	8.88	1.73	1.03	1
927	9.34	1.85	1.18	1	288	8.94	1.76	1.08	2
929	9.26	1.80	1.19	3	290	9.05	1.72	1.09	1
931	9.23	1.78	1.16	1	292	9.08	1.72	1.09	1
932	9.19	1.78	1.21	2	294	9.09	1.74	1.17	1
935	9.14	1.75	1.15	1	295	9.13	1.75	1.11	2
936	9.10	1.76	1.13	1	297	9.12	1.76	1.05	1
937	9.10	1.76	1.20	1	298	9.16	1.77	1.15	2
942	9.05	1.74	1.14	1	301	9.18	1.78	1.09	1
961	8.83	1.66	1.08	2	316	9.31	1.82	1.10	2
964	8.82	1.66	1.08	3	320	9.34	1.83	1.21	1
965	8.82	1.66	1.05	1	325	9.33	1.83	1.21	2
967	8.82	1.66	1.09	2	326	9.33	1.84	1.22	1
968	8.81	1.66	1.09	1	327	9.31	1.82	1.22	3
969	8.82	1.66	1.09	1	328	9.31	1.93	1.09	1
970	8.82	1.66	1.09	2	329	9.26	1.82	1.23	2
46000	9.13	1.76	1.20	1	330	9.31	1.84	1.21	1
002	9.16	1.76	1.17	1	332	9.27	1.79	1.15	2
020	9.25	1.78	1.15	1	341	9.23	1.82	1.14	1
035	9.22	1.78	1.09	1	345	9.22	1.83	1.13	1
058	8.94	1.69	1.14	1	357	9.14	1.79	1.14	1
062	8.86	1.62	1.08	1	376	9.03	1.68	1.10	1
168	9.12	1.74	-	1	378	9.03	1.70	1.03	1
227	9.40	1.74	1.21	1	382	9.02	1.70	1.06	1
228	9.34	1.82	1.18	2	390	9.00	1.71	1.09	1
230	9.34	1.81	1.17	1	394	9.02	1.70	1.09	1
232	9.33	1.82	1.16	2	405	9.02	1.73	1.04	1
234	9.33	1.82	1.18	1	407	9.03	1.73	1.16	2
240	9.25	1.83	1.19	1	410	9.05	1.75	1.18	1
256	9.03	1.72	1.10	1	422	9.18	1.81	-	1

Таблица 1а

Среднегодовые значения блеска и показателей цвета FG Sge

Год	V	B	U	B-V	U-B
1980	9.05	10.68	11.68	+1.63	+1.00
1981	9.00	10.68	11.75	1.68	1.07
1982	9.10	10.8	11.85	1.70	1.05
1983	9.07	10.79	11.92	1.72	1.13
1984	9.14	10.88	12.00	1.74	1.12
1985	9.15	10.89	12.02	1.74	1.13

Таблица 2

Амплитуда блеска FG Sge в 1981-85 годы

Год	ΔV	ΔB	ΔU	$\Delta(B-V)/\Delta V$
1981	0.10	0.20	0.30	1
1982	0.3	0.3	0.4	0.3
1983	0.35	0.42	0.39	0.2
1984	0.55	0.70	0.80	0.27
1985	0.54	0.68	0.87	0.27

Таблица 3

Вычисленные и наблюдаемые моменты минимумов и максимумов
блеска FG Sge в 1981-85 годы ($P=100^d$)

Минимумы			Максимумы		
Набл.	Выч.	О-С	Набл.	Выч.	О-С
JD 24...			JD 24...		
45120-125	45115	+5...+10	45170-182	45165	+5...+17
211-213	215	-4...-2	255-265	265	0...-10
300-304	315	-11...-15	850-855	865	-15...-10
600-605	615	-10...-15	966	965	+1
910-912	915	-5...-3	46267-269	265	+2...+4
46022	46015	+7	386:	365	+21:
220	215	+5			
320-324	315	+5...+9			

Таблица 4

Температура и болометрическая величина FG Sge в 1960-85 годы

Год	V_0	$(B-V)_0$	$(U-B)_0$	T	M_{bol}	Sp(cent)
1960	8.36	0.00:	-0.70	10000 ^o	-4.3	B9
1961	8.28	0.00	-0.64	9700	-4.3	A0
1963	8.06	0.00	-0.40	8900	-4.4	A3
1966	7.85	+0.02	-0.06	8500	-4.3	A5
1968	7.74	+0.14	+0.13	8100	-4.3	A9
1970	7.69	+0.44	+0.29	7500	-4.34	F2
1971	7.69	+0.61	+0.35	7000	-4.35	F3
1972	7.70	+0.68	+0.49	6700	-4.34	F6
1973	7.75	+0.89	+0.56	6500	-4.29	
1974	7.77	+0.98	+0.58	6250	-4.28	
1975	7.79	+1.07	+0.68	6100	-4.28	F8
1976	7.80	+1.12	+0.67	5900	-4.29	
1977	7.82	+1.18	+0.69	5700	-4.30	G0
1978	7.82	+1.19	+0.73	5550	-4.32	
1979	7.82	+1.20	+0.70	5400	-4.33	
1980	7.83	+1.23	+0.70	5300	-4.36	G2
1981	7.86	+1.28	+0.77	5200	-4.35	G3
1982	7.88	+1.30	+0.75	5100	-4.36	G4
1983	7.90	+1.32	+0.83	5000	-4.38	G5
1984	7.94	+1.34	+0.82	4900	-4.38	G6
1985	7.95	+1.34	+0.83	4800	-4.41	G7

Таблица 5

Температурная шкала сверхгигантов I класса светимости

Sp	T	Sp	T
F0 I	7650	G0 I	5700
F2 I	7400	G2 I	5300
F5 I	6900	G5 I	5000
F8 I	6250	G8 I	4750

Литература

Акер, 1978 – Acker A., *AsAp Suppl* **33**, 367.
 Акер, Яшек, Глейзес, 1982 – Acker A., Jaschek M., Gleizes F.,
AsAp Suppl **48**, 363.
 Акер, 1983 – Acker A., *AsAp Suppl* **54**, 293.
 Аллен К. У., 1977, "Астрофизические величины", "Мир", Москва.
 Архипова В. П., 1971, ПЗ **18**, 183.

- Архипова В.П., 1975, ПЗ **20**, 143.
 Архипова В.П., 1982, ПЗ **21**, 617.
 Архипова В.П. и др., 1983 — АИ № 1250, 1.
 Джонсон, 1966 — Johnson H.I., Ann. Rev. Astron. Astroph. **4**, 193.
 Ибен, 1984 — Iben I., ApJ **277**, 333.
 Кохен, Филлипс, 1980 — Cohen J.G., Phillips A.C., ApJ **237**, 99.
 Крафт, 1961 — Kraft R.P., ApJ **134**, 616.
 Кристи-Сакман, Деспен, 1974 — Christy-Sackman J., Despain K.,
 ApJ **189**, 523.
 Кудворс, 1974 — Cudworth K., AJ **79**, 1384.
 Купо, Лейбовиц, 1979 — Kupo I., Leibowitz E.M., AsAp **71**, 102.
 Лангер, Крафт, Андерсон, 1974 — Langer G.E., Kraft R.P., Ander-
 son K.S., ApJ **189**, 509.
 Милн, 1982 — Milne D.K., MN **200**, 51.
 Пачинский, 1970 — Paczynski B., Acta Astron. **20**, 47.
 Пачинский, 1971 — Paczynski B., Acta Astron. **21**, 417.
 Стоун, 1979 — Stone R.P.S., PASP **91**, 389.
 Тыленда, 1980 — Tylanda R., Acta Astron. **30**, 433.
 Уитни, 1978 — Whitney Ch.A., ApJ **220**, 245.
 Вендкер, 1978 — Wendker H. Hamburg Abh. **10**, 3.
 Фадеев, 1982, — Fadeyev Yu.A., Astrophys. Space Sci. **86**, 183.
 Флауер, 1977 — Flower P.J., AsAp **54**, 31.
 Фолкнер, Бессель, 1970 — Faulkner D.J., Bessell M., PASP **82**, 1333.
 Харм, Шварцшильд, 1975 — Härm R., Schwarzschild M., ApJ **200**, 324.
 Харрингтон, Марионни, 1976 — Harrington J.P., Marionni P.A. ApJ
206, 458.
 Хаули, Миллер, 1978 — Hawley S.A., Miller J.S., ApJ **221**, 851.
 Хербиг, Боярчук, 1968 — Herbig G.H., Boyarchuk A.A., ApJ **153**, 397.

Государственный астрономический
 институт им. П.К. Штернберга
 г. Москва

Поступила в редакцию
 6 марта 1986 г.

