

О быстрых изменениях блеска голубой звезды,
расположенной близ Cyg X-1

А.Н. Абраменко, О.П. Голландский, В.В. Прокофьева

Заподозренная ранее в наличии пульсаций блеска голубая звезда 17^m , расположенная на расстоянии $3.3'$ от рентгеновского источника Cyg X-1, наблюдалась повторно с помощью телевизионной аппаратуры 19 августа 1972 г. На полуметровом телескопе было сделано 257 снимков области диаметром $1.5''$ с целью поиска изменения блеска звезды в диапазоне от 0.0731 до 0.0754 сек. Временное разложение изображения звездного поля производилось на восемь фазовых интервалов.

Сравнение гистограмм частоты отклонений от среднего значения блеска, которые были получены для исследуемой звезды и звезды сравнения (звезды V и a на рис.1 соответственно), показало наличие быстрых изменений блеска у исследуемой звезды с характерным временем $\tau \leq 10$ мсек (рис.3). На снимках области, сделанных при периоде временного разложения 0.07395 сек видно наличие квазипериодических пульсаций блеска объекта (рис.4). Блеск исследуемой звезды и ее показатель цвета равны $m_v = 17.2$, $B - V = 0.57$ согласно измерениям телевизионных снимков области, полученным 31 октября 1972 г. На диаграмме цвет-светимость объект лежит либо в области белых карликов, либо рядом с пульсаром NP 0532 и рентгеновским источником Sco X-1 (рис.5).

Наблюдавшиеся нами быстрые изменения блеска исследуемой звезды, возможно, свидетельствуют о том, что данный объект является коллапсаром.

On Rapid Light Variations of a Blue Star in the
Vicinity of Cyg XR - 1.

by A.N. Abramenko, O.P. Gollandskij, V.V. Prokofjeva.

A blue star of 17^m in the vicinity of Cyg X - 1 suspected as a pulsating one was repeatedly observed with the TV apparatus. 257 TV photographs of a $1.5''$ field around the star were taken on August 19, 1972 in order to detect light variations with the period inside the interval between 0.0731

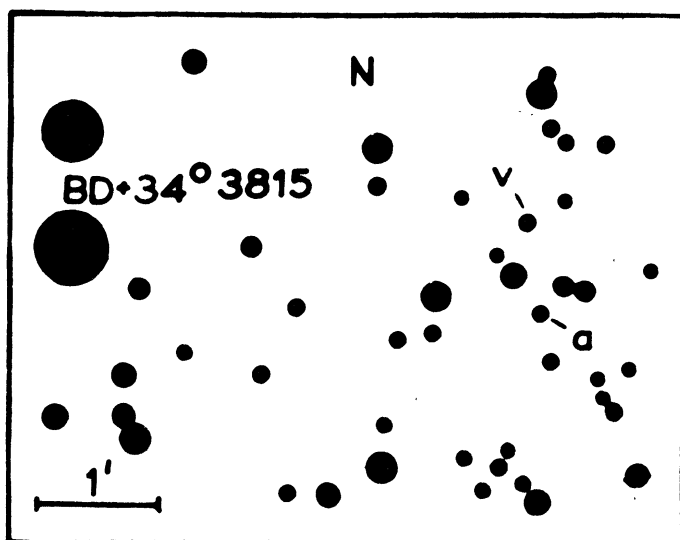
and 0.0754 sec. A time resolution into eight phase intervals was used. Histograms for the star under consideration and a comparison star (labeled by V and a , respectively, on fig. 1) were plotted against deviations from the mean brightness. Comparison of both kinds of histograms showed that there might be rapid light variations of star V with characteristic time $\tau \leq 10$ msec (fig. 3). The photographs taken with the resolution period of 0.07395 sec showed quasiperiodic light pulsations (fig. 4). The magnitude and colour of the star V are: $m_V = 17^m2$, $B - V = 0^m57$ from the photographs taken on October 31, 1972. On the colour - luminosity diagrams (fig. 5) the object is situated either in the white-dwarf region or near the X-ray source Sco X-1 and the pulsar NP 0532. The detected rapid light variations of the star are similar to those predicted for a black hole accreting interstellar gas.

Слабая голубая звезда (на рис.1 она обозначена индексом V), расположенная на расстоянии $3'.3$ от наиболее вероятного положения рентгеновского источника Суг X-1, по наблюдениям 1971 года была заподозрена в наличии пульсаций блеска с периодом 0.0745 сек. (Абраменко, Прокофьева и Голландский, 1971). В 1972 г. ее наблюдения были продолжены. Ниже описывается применявшаяся при этом методика и аппаратура, а также результаты обработки полученного наблюдательного материала.

1. Аппаратура и методика наблюдений

Наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР на менисковом телескопе МТМ-500 с диаметром зеркала 0,5 м и фокусным расстоянием 6,5 м с помощью астрономической телевизионной аппаратуры (Абраменко, Прокофьева и Голландский, 1973). Ее функциональная схема приведена на рис.2. Аппаратура работает в режиме поиска периодических кратковременных изменений блеска объекта. Принцип ее действия заключается в следующем. На поток фотоэлектронов, эммитируемых фотокатодом ЗОП при проектировании на него изображения объекта, накладывается поперечное магнитное поле с периодическим ступенчатым изменением его напряженности. Вследствии этого, изображение объекта на экране ЗОП (а следовательно, и на экране кинескопа телевизионной установки) будет скачкообразно менять свое положение, причем его смещение будет пропорционально величине изменения напряженности магнитного поля для каждой данной "ступеньки". Время перехода от одной "ступеньки" к другой пренебрежимо мало по сравнению с длительностью самих "ступенек". Таким образом, благодаря наложению ступенчатого магнитного поля, объект

Рис. 1.
Карта области Суѳ
Х-1.
v — исследуемая
звезда;
a — звезда сравне-
ния;



на телевизионном экране будет наблюдаться в ряде последовательных фазовых интервалов периода, определяемого произведением количества "ступенек" на их длительность. Назовем такой метод наблюдений временным разложением периода на "n" фазовых интервалов. В случае, когда период разложения строго соответствует частоте пульсаций объекта, на телевизионных снимках происходит синфазное сложение многих периодов изменения яркости объекта. Фотометрия этих снимков дает кривую блеска наблюдаемого объекта.

Для того, чтобы отдельные изображения звезд не перекрывались, размер проектируемого на фотокатод ЭОП поля ограничивается диафрагмой, отверстие в которой подбирается в зависимости от числа элементов разложения и амплитуды отдельных "ступенек" напряженности магнитного поля (величины разового смещения объекта на экране). С целью максимального использования полезной площади фотокатода разложение ведется по двум взаимноперпендикулярным направлениям, образуя отдельные строки по несколько изображений в каждой.

В данной телевизионной аппаратуре модулятор ЭОП (рис.2) может обеспечить число элементов разложения от 2 до 16. Он запускается от импульсов, вырабатываемых комплексом приборов, включающим в себя генератор высокочастотных колебаний, пересчетное устройство, контрольный осциллограф и электронно-счетный частотомер. Частотомер предназначен для точного измерения периода развертки.

Поиск периодических пульсаций и определение их точного периода в заданном диапазоне частот производится путем получения ряда телевизионных фотоснимков объекта, сделанных для ряда дискретных значений периода разложения. Расчет необходимой дискретности и

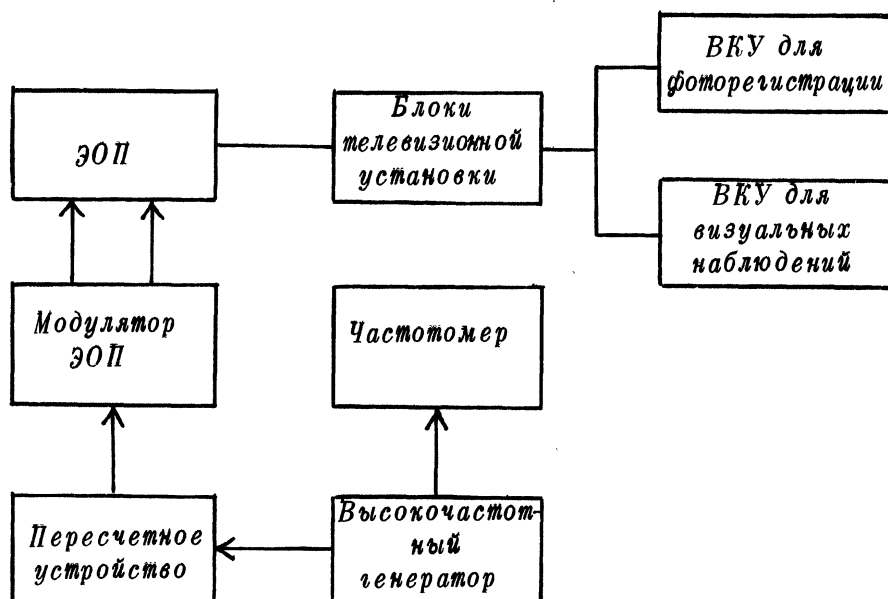


Рис. 2. Функциональная схема телевизионной аппаратуры, применявшейся для поиска объектов с быстрыми изменениями блеска.

скорости изменения периода разложения подробно описан в Известиях Крымской астрофизической обсерватории АН СССР (Абраменко, Прокофьева и Голландский, 1973). Согласно сделанным там оценкам, поиск пульсаций блеска изучаемого источника в заданном частотном интервале может быть обеспечен в том случае, если изменение частоты разложения от фотоснимка к фотоснимку не превышает величины Δf (Гц)

$$\Delta f = \frac{1}{t_n},$$

где t — время экспонирования каждого телевизионного снимка в секундах, n — число элементов разложения.

II. Результаты наблюдений

В 1972 году поиск пульсаций проводился в диапазоне периодов от 0,0731 до 0,0754 сек, с числом элементов разложения, равным восьми.

Величина изменения частоты Δf была подобрана так, чтобы по крайней мере на двух соседних снимках всплеск блеска звезды, если он имеется, наблюдался в одних и тех же элементах разложения

($\Delta f = \frac{1}{2\tau n}$). Это позволило усреднить результаты фотометрии соседних по времени снимков.

В ночь на 19 августа 1972 г. было получено 257 снимков области диаметром в $1.5''$, в центре которой находилась заподозренная звезда. Экспозиция при фотографировании изображения временной развертки звездного поля с телевизионного экрана составляла 64 сек. Использовалась мелкозернистая фотопленка "Микрат-200". Фотометрическая калибровка осуществлялась по снимкам специального теста, имитирующего звезды различной яркости. Фотометрическая обработка снимков выполнялась на микрофотометре МФ-2 с постоянной диафрагмой. Измерения блеска звезды сравнения и исследуемой производились во всех восьми элементах разложения. При обработке результатов измерений была учтена ошибка поля телевизионной системы. Поскольку наблюдения проводились с телевизионной передающей камерой, установленной неподвижно в фокусе куде телескопа, изображения звезд во время наблюдений смещались в поле зрения из-за вращения поля телескопа. Для учета ошибки поля была принята следующая довольно сложная методика. Предполагалось, что за 13 минут, в течение которых делалось 12 снимков, изображения звезды сравнения и исследуемой, расположенные близко к центру вращения поля, практически не смещаются. Все снимки были разбиты на группы по 12 снимков в каждой, и учет ошибки поля производился отдельно для каждой группы. С достаточной степенью точности можно было считать, что значение яркости звезды в k -том элементе разложения

$$m_k = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} m_{ik} \quad (k=1, 2, \dots, 8), \quad (1)$$

усредненное по 12 снимкам, свободно от влияния макро- и микро-неоднородностей чувствительности по полю.

Средняя квадратичная ошибка σ одного измерения блеска звезды в одном элементе разложения была определена как для исследуемой звезды V , так и звезды сравнения a , которая в данную ночь была на $0^m 4$ ярче звезды V . Значения получились равными $\sigma_V = \pm 0^m 26$ для звезды V и $\sigma_a = \pm 0^m 13$ для звезды a . Существенно большее значение σ для звезды V , чем для звезды a , полученное также при аналогичных наблюдениях в 1971 г., говорит о возможных изменениях блеска звезды V . Отметим, что теоретическое значение средней квадратичной ошибки при таких наблюдениях с данной аппаратурой (обобщенный квантовый выход $\epsilon_{06} = 0.03$ (Абраменко, Прокофьева, 1971) для звезды a составляет $\pm 0^m 11$, а для звезды V — $\pm 0^m 13$, что практически совпа-

дает с результатом, полученным при измерениях звезды α .

Измерения блеска звезд были подвергнуты статистической обработке методом гистограмм, показывающих частоту отклонений измеренных значений блеска в k -том элементе ($k=1, \dots, 8$) от среднего значения блеска (1). Гистограммы строились отдельно для каждой группы из 12 снимков после учета ошибки поля. Поскольку блеск звезд измерялся на каждом снимке во всех восьми элементах разложения, каждая группа состояла из 96 измерений (иногда из-за дефектов негатива количество измерений было несколько меньшим). Всего для исследуемой звезды было построено 19 гистограмм. На рис.3 в качестве примера приведены три гистограммы для исследуемой звезды и три — для звезды сравнения. Для обеих звезд гистограммы построены по одним и тем же снимкам. Выборки, объединяющие тройки гистограмм (на рис.3) для звезд α и ν , содержат соответственно 279 и 277 элементов. Применение к ним критерия χ^2 показало, что нет оснований считать распределение элементов этих выборок негауссовыми. Поэтому, исходя из предположения о гауссовом распределении, для звезд α и ν по этим выборкам получены эмпирические стандарты со своими среднеквадратичными отклонениями $S_\alpha = 0.^m 15 \pm 0.^m 006$; $S_\nu = 0.^m 33 \pm 0.^m 014$, что согласуется с приведенными выше значениями σ_α и σ_ν .

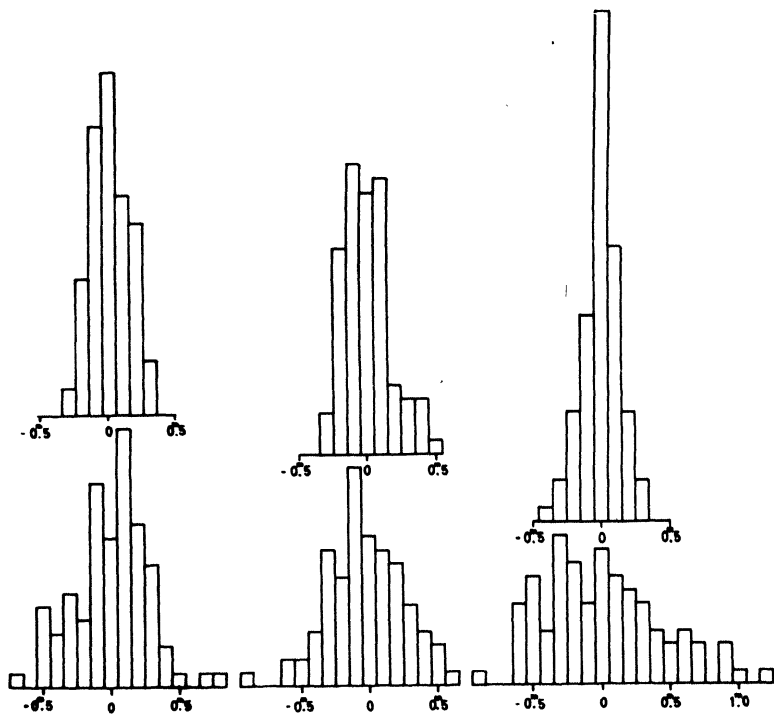


Рис. 3. Гистограммы изменения блеска звезды α (вверху) и звезды ν (внизу), построенные для трех произвольных выборок.

Рассмотрение всех 19 гистограмм, построенных для исследуемой звезды, позволяет подметить следующие их особенности. Так, например, для частот отклонения от среднего значения блеска в сторону поярчания звезды в диапазоне между $-0.^m25$ и $-0.^m15$ имел место относительный максимум гистограмм в восьми случаях, и в одном случае частот отклонений в этом же интервале гистограмма имела даже абсолютный максимум. Так как каждая гистограмма охватывала измерения приблизительно на протяжении 13 минут наблюдений, то в последнем случае на протяжении этого промежутка времени поярчание звезды в среднем на $0.^m2$ встречалось чаще всего. Для поярчаний в интервале от $-0.^m35$ до $-0.^m25$ относительный максимум гистограммы имел место 9 раз, в частности, его показали три гистограммы, рядом стоящие по времени. Таким образом, поярчания в среднем на $0.^m3$ в этом случае были относительно частыми на протяжении более получаса. Эти три гистограммы были объединены в одну (287 измерений), и на полученной гистограмме для поярчания в среднем на $0.^m3$ получился абсолютный максимум с относительной частотой 0.126 (т.е. для 36 измерений), тогда как относительная частота отклонений в интервале от $-0.^m05$ до $+0.^m05$ получалась равной 0.101. Что касается ослабления яркости, то они показывают относительный максимум в интервале ($0.^m25 - 0.^m35$) — в пяти случаях, в интервале ($0.^m15 - 0.^m25$) — только в двух случаях. Иногда относительный максимум встречается при ослаблении яркости почти на $1.^m0$.

Особенности гистограмм позволяют заключить, что яркость исследуемой звезды, по-видимому, нестабильна и, помимо случайных отклонений блеска от среднего значения, обусловленных ошибками измерений, у нее вероятны изменения блеска, дающие на снимках эффект изменения блеска звезды в отдельных элементах временного разложения, равный нескольким десятым звездной величины. Характерное время этих измерений (длительность всплесков яркости) должно быть равным или меньшим времени пребывания изображения в одном элементе временного разложения, т.е. меньше или равно 10 мсек.

Согласно приведенным выше значениям экспозиций и длительностям периодов разложения, на каждом телевизионном снимке усреднялось около 800 периодов изменения блеска. Поэтому, если у исследуемого объекта имеются однократные аperiodические всплески излучения амплитуда их должна составлять несколько звездных величин, чтобы на снимках эффект был в несколько десятых звездной величины. Возможно также наличие хаотических быстрых изменений блеска с несколько меньшей амплитудой, меняющейся по величине, причем по времени эти изменения могут следовать одно за другим через интервалы времени около десяти миллисекунд или меньше. Сильно меняющиеся амплитуды всплесков излучения могут при усреднении за время экспо-

зидии создать наблюдаемый эффект разных яркостей в разных элементах разложения.

Анализ снимков, проведенный с целью поиска периодических изменений блеска исследуемого объекта, показал, что имеется три соседних снимка (порядковые номера 114 — 116), на которых на одном и том же элементе временного разложения звезда существенно ярче своего среднего блеска, а в других—слабее. Результаты измерений блеска V в каждом из восьми элементов разложения были усреднены для №№ 114—116 в предположении, что на них всплеск излучения приходится на одни и те же элементы разложения. Полученный график приведен на рис. 4 в середине. Там же справа и слева приведены аналогичные графики для трех предыдущих и трех последующих снимков. Цифрами внизу обозначены номера элементов разложения. Горизонтальной линией показано среднее значение блеска звезды, а пунктиром—величина среднеквадратичного отклонения, вычисленного по измерениям звезды V в различных элементах разложения. На графике, расположенном в середине, один элемент разложения показывает поярчение, превышающее среднеквадратичное отклонение σ_v в 4.0 раза, а два других дают уменьшение блеска звезды на $2.0 \sigma_v$ и $1.5 \sigma_v$ от среднего значения. Снимкам №№ 114—116 соответствует период разложения $0.07395 \cdot K$ сек, где K —целое число. Отметим, что его отличие от периода, найденного в июле 1971 г. (Абраменко, Прокофьева, Голландский, 1972) вполне реально. Отличие периодов, найденных в разное время, и описанный выше характер изменения блеска объекта, позволяют предположить, что объект не имеет переменности блеска со строго определенным периодом. Найденные же значения периода соответствуют квазипериодическим изменениям блеска, длительность существования которых, по-видимому составляет несколько минут.

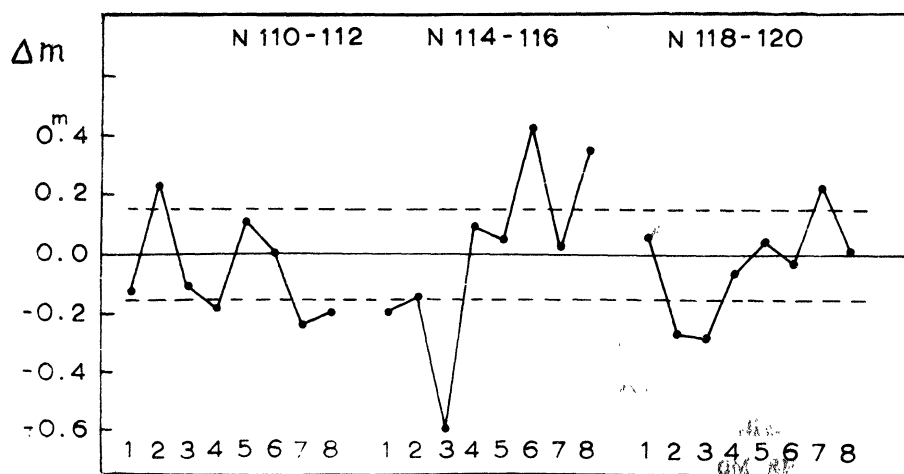


Рис 4 Графики изменения блеска звезды v , построенные для периодов развертки: 0.07392 сек (слева), 0.07395 сек (в центре) и 0.07398 сек (справа).

Блеск и показатель цвета исследуемой звезды были определены по телевизионным снимкам, полученным 31 октября 1972 г. в цветовой системе, близкой к В и V : $m_v = 17.21 \pm 0.10$; $B-V = 0.57 \pm 0.20$. Положение объекта на диаграмме цвет—светимость было найдено в предположении различных расстояний до него с учетом межзвездного поглощения (Нумерова, 1961; Хильтнер, 1956; Гринберг, 1970) (см. рис. 5). Исходя из графика на рис.5, можно предположить, что исследуемая звезда является либо белым карликом, если расстояние до нее составляет около 100 пс, либо объектом типа рентгеновского источника или пульсара, если расстояние составляет $1.0 \div 1.5$ кпс.

Итак, тщательная обработка телевизионных снимков показывает, что обнаружена голубая звезда, обладающая быстрыми изменениями блеска с характерным временем менее 10 м сек, причем, возможно у нее имеются недолгоживущие квазипериодические изменения блеска. Интересно отметить, что согласно теоретическим предсказаниям (Зельдович и Новиков, 1971; Сюняев, 1972; Шварцман, 1971) коллапсар в оптическом диапазоне спектра мог бы проявить себя подобным образом.

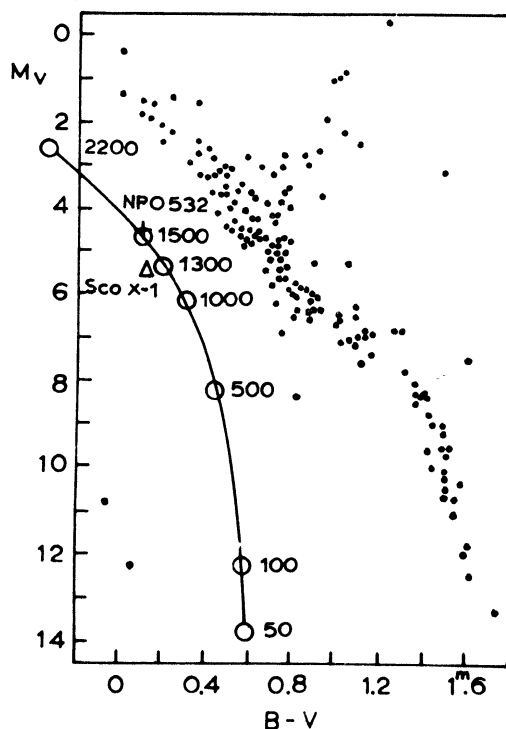


Рис. 5.
Диаграмма цвет-светимость звезд с известными параллаксами. Крестиком показано положение пульсара NP 0532, треугольником — Sco X-1. Круги и линии показывают возможное положение звезды в при различных расстояниях до нее, выраженных в парсеках.

Авторы глубоко благодарны академику А.Б.Северному, предложившему им провести телевизионные наблюдения в этом участке неба и сделавшему ряд ценных замечаний при выполнении данной работы. Авторы благодарят также В.К.Прокофьева за обсуждение результатов и Т.В.Шаврину и А.К.Дабахова за помощь при получении и обработке наблюдений.

Литература.

- Абраменко А. Н., Прокофьева В. В., 1971, ПЗ 18, № 2, 134;
 Абраменко А. Н., Прокофьева В. В., Голландский О. П.,
 1972, АЦ, № 708, 6;
 Абраменко А. Н., Прокофьева В. В., Голландский О. П.,
 1973, Изв.КрАО, 49, 89;
 Гринберг М., 1970, "Межзвездная пыль," М., "Мир", стр.16;
 Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., 1971, "Теория тяготения и эволюция звезд", М., "Наука", гл.14, § 3;
 Нумерова А. Б., 1961, Изв.КрАО, 25, 46;
 Сюняев Р. А., 1972, Препринт ИПМ, № 57;
 Хильтнер, 1956, — Hiltner W. A., ApJ Suppl. 8, № 24, 389;
 Шварцман В. Ф., 1971, АЖ, 48, вып.3, 479.

Крымская астрофизическая
 обсерватория
 АН СССР

*Поступила в редакцию
 25 января 1974 г.*