АСТРОФИЗИКА

TOM 23

АВГУСТ, 1985

выпуск 1

УДК: 524.352—837;520.82

О ПОВЕДЕНИИ ФОТОСФЕРЫ СВЕРХНОВЫХ

О. С. БАРТУНОВ, Д. Ю. ЦВЕТКОВ Поступила 6 августа 1984 Принята к печати 8 мая 1985

Исследовано поведение раднуса фотосферы 14-и сверхновых I типа и 6-и II типа-Показано, что около максимума блеска раднус фотосферы линейно увеличивается соскоростью около 7000 км/с для J типа и 4500 км/с для II типа. Определены характерные размеры фотосферы, моменты начала расширения оболочск, рассмотрены различия между отдельными сверхновыми. Обсуждаются различные методы определениями температуры, связь изменсний в спектре с поведением фотосферы и определениями тсмпературы.

1. Введение. Несмотря на то, что физика сверхновых добилась за последнее время пначительных успехов, до сих пор не существует теорий, описывающих всю совокупность фотометрических и спектральных данных. Наблюдательные данные говорят о том, что явление сверхновых II типа связано со вэрывом массивной протяженной звезды типа красного сверхгиганта; в случае сверхновых I типа ситуация пока остается неоднозначной (см., например, [1, 2]). Непосредственная интерпретация наблюдательных данных, накладывающая ограничения на существующие модели, имеет в втих условиях большое значение.

Данные широкополосной фотометрии и спектрофотометрии позволяют получить некоторые сведения о кинематике и структуре оболочек сверхновых. В частности, большой интерес представляет изучение изменения температуры и радиуса «фотосферы» сверхновых — слоя, где оптическая толщина по непрерывному спектру ~ 1.

В работах, рассматривавших эволюцию фотосферы сверхновых I и II типов [3—7] исследовались либо отдельные 1—2 сверхновые, либо выводы делались на основании «сводных» кривых блеска и цвета. Накопленный к настоящему времени наблюдательный материал позволяет исследовать поведение фотосферы для значительного числа сверхновых и угочнить такие параметры, как температуры, скорости и размеры фотосфер, момент начала расширения оболочки, а также связь поведения фотосфер с кривыми блеска и цвета, с эволюцией спектра. 2. Наблюдательные данные. В табл. 1 приведены данные о 14-и сверхновых I типа и 6-и II типа с наиболее надежно установленными кривыми блеска и цвета, отобранных нами для исследования поведения фотосферы В 4' столбце обозначены методы оценки модуля расстояния: z — по красному смещению галактики при H = 75 км/с Мпс; v — по принадлежности галактики скоплению в Деве, для которого согласно [50] принят модуль расстояния 31.1. В модули из [13, 49, 50] введены поправки, учитывающие различие принятого нами значения поглощения в Галактике по [51] и использованного в [13, 49, 50]. В последнем столбце — ссылки на источники фотометрических данных; все эти данные приведены нами в одну систему, значения B_{max} , t_{max} и E_{B-V} получены на основании новых сводных кривых блеска и цвета [17].

3. Температуры сверхновых 1 и 11 типов. Наблюдения яркой сверхновой I 1972е позволили Киршнеру и др. [52] сделать вывод, что распределение энергии в спектре соответствует излучению абсолютно черного тела, несмотря на большой дефицит в ближней ультрафиолетовой области $\lambda < 0.4$ мкм. Этот дефицит, по-видимому, вызван наличием большого количества резонансных линий поглощения металлов, которые, уширяясь, дают практически квазинепрерывное поглощение [53, 54]. Благодаря этому в данной области спектра мы наблюдаем не фотосферу, а некий эффективный слой поглощающего материала, лежащий выше фотосферы, где температура ниже и поэтому ультрафиолетовое излучение ослаблено. Применение планковского распределения для определения температуры сверхновых I вполне оправдано, однако из-за характера спектра таким путем можно получить лишь грубые оценки температуры. По этой причине многие исследователи используют цветовую температуру, определяемую по известным соотношениям между показателем цвета (В-V), и температурой (например, [55]). Однако Мустель и Чугай [5, 56] показали, что существует реальное различие между спектрофотометрическими и цветовыми температурами. Псковский [57] предложил новый метод определения спектрофотометрических температур сверхновых I по опубликованным спектрорегистрограммам и нашел зависимость температуры от показателя цвета (B-V). Его определение температур, по сути дела, основывалось на предположении, что линии в спектрах сверхновых I имеют поофиль типа Р Суд и образованы чистым рассеянием непрерывного излучения фотосферы. По нашему мнению температуры, определенные таким методом, меньше страдают от довольно субъективного проведения континуума. Для SN I 1972е и 1981b нами получены следующие соотношения между (B—V), и температурой T по [57]:

$$1000/T = 0.142 (B - V)_0 + 0.065 \tag{1}$$

№	Сверхновая	Галактика NGC (IC) MCG	Модуль расстояния					
			bes -					
1	1937c	(4182)	28.2 [8]					
2.	1959c	1-34-5	32.9 z					
3	1967c	3389	31.5 [13]					
4	1070j	7619	33.6 z					
5	1971g	4165	31.1 v					
6	1971i	5055	29.2 [13]					
7	1972e	5253	28.0 [21]					
8	1973f	4944	34.8 z					
9	1974g	4414	29.9 z					
10	1975n	7723	32.1 z					
11	1980n	1316	31.7 z					
12	1981b	4536	31.1 v					
13	1982b	2268	32.6 z					
14	1983g	4753	31.1 v					
1	1959d	7331	30,1 [13]					
2	19681	5236	28.3 [13]					
3	196.1	1058	30.5 [13]					
4	1970g	5457	. 28.6 [44]					
5	1979c	4321	31.1 v					
6	1980k	6946	28.6 [49]					

	and the second second		Таблица
ка сверхновой дата <i>t</i> max	Избыток цвета	Абсолют- ная вели- чина М ⁰ _В	Аптература
JD 2400000+	E_{B-V}		
		115	
28769	0‴0	-19 ^m 7	[9-11]
36750	0.0	-18.9	[12]
39551	0.05	-18.5	[14]
40867	0.04	-18.8	[15-17]
41052	0.0	-17.6	[15, 18, 19]
41401	0.25	-18.3	[15, 19, 20]
41447	0.06	- 19.8	[22, 23]
41782	0.0	-19.0	[24]
42169	0.4	-18.8	[17, 25, 26]
42721	0.25	-19.4	[19, 27-30]
44585	0.2	20.0	[31, 3]
44673	0.18	-19.8	[33-35]
45016	0.25	-20.1	[36, 37]
45434	0.4	-19.8	[33-40]
	4	1	
			·
36752	0.735	-17 ^m 7	[41]
40050	0.2	-17.2	[42]
40561	0.05	-17.6	[43]
40798	0.2	-18.0	[17, 45, 46]
43979	0.02	- 19.6	[47, 48]
44544	0.34	-18.4	[19, 35, 49]
	Rate fmax JD 2400000 + 28769 36750 39551 40867 41052 41401 41447 41782 42169 42721 44585 44673 45016 45434 36752 40050 40561 40798 43979 44544	Ra ca cbep xhobol $M_{36bitox}$ Aa ta t_{max} $M_{36bitox}$ JD 2400000 + max max 28769 0."0 36750 0.0 39551 0.05 40867 0.04 41052 0.0 41401 0.25 41447 0.06 41782 0.0 42169 0.4 42721 0.25 44585 0.2 44673 0.18 45016 0.25 45434 0.4 36752 0."35 40050 0.2 40561 0.05 40798 0.2 43979 0.02 44544 0.34	CA CBEPXHOBOB Mashara t_{max} Addition of the max beam- than beam

ФОТОСФЕРА СВЕРХНОВЫХ

123

до точки замедления падения блеска (точка K); $1000/T = 0.191 (B - V)_0 + 0.03$

после точки К.

Для сверхновых II все исследователи (например, [4, 6]) отмечают практически чернотельный характер излучения в широком интервале длин волн. Проведенные нами определения спектрофотометрических температур по данным (*UBV JHK*-фотометрии для SN 1980 к [49, 59] и *UBV RI* фотометрии для SN 1979 с [47, 48] показали, что эти температуры совпадают с полученными по зависимости (B - V)₀ от T для черноготела [59].



Рис. 1. Зависимость температуры сверхновых I и II от показателя цвета $(B-V)_0$. 1 — SN I 1972с, по [59]; 2 — SN I 1981b, по [7]; 3, 4 — определенные нами температуры для SN II 1979с и 1980k по данным многоцветной фотометрии; а — зависамость (1); b — связь $(B-V)_0$ с T для черного тела по [59].

На рис. 1, 2 показаны зависимости температур сверхновых I и II типов, определенных разными авторами по разным областям спектра, от показателя цвета $(B-V)_0$ и времени после максимума блеска. В [7] и [60] оценки температур сделаны с использованием инфракрасной фотометрии до 2.2 мкм. Около максимума блеска определения температур сверхновых I достаточно хорошо согласуются между собой и с зависимостями *a* (рис. 1) и *a*, *b* (рис. 2). Однако около точки *K* ((B-V)₀ > 0.ⁿ7) различие увеличивается, причем чем более красную область охватывает интервал спектра, по которому определяется температура, тем она выше.

4. Поведение фотосферы сверхновых I. Эная температуру, расстояние D и блеск сверхновой, исправленный за поглощение света m_0 , можно зайти раднус фотосферы R:

$$\lg R = \lg D - 8.75 - 0.2 \, m_0 + 0.5 \, \lg \, (\exp \left(\frac{32700}{T} \right) - 1). \tag{3}$$

124

(2

Температуры для сверхновых I определялись по соотношениям (1) и (2), для сверхновых II. — по соотношению из [59]. Использовались звездные величины в системе B, для которой и вычислены постоянные в (3); сравнение радиусов фотосфер, определенных с помощью величин B и V, показало, что они практически совпадают.



Рис. 2. Зависимость температуры сверхновых I и II от времени после максимума блеска t (в сутках). 1—SN I 1981b, по [56], λ от 0.39 до 0.7 мкм; 2—SN I 1981b, по [7]; 3—SN I 1972е, по [56], λ от 0.39 до 0.7 мкм; 4—то же, λ от 0.39 до 1.0 мкм; 5—SN II 1969 I, по [4]; 6—SN II 1969 I, температура определена согласно [59]; 7—SN II 1979с, по [6]; 8—SN II 1979с, температура определена согласно [59]; 9—SN II 1980k, то же; 10—SN I 1972е, по [60]; a, b— температуры определены по соотношениям (1), (2) соответственно для SN I 1972е и 1981b; с температура, соответствующая линейному росту и уменьшению радиуса фотосферы для SN I 1981b.

Поведение фотосферы для 14 сверхновых I показано на рис. 3. Раднус фотосферы большинства сверхновых линейно возрастает около максимума блеска: от фазы $-5^d - -7^d$ (более ранних наблюдений пока нет) до $13^d - 15^d$. Затем начинается нелинейный рост со скоростью, характерной для синего конца линий ($\sim 20\,000$ км/с), после точки K — резкое уменьшение радиуса фотосферы, переходящее в более плавное уменьшение. Точку начала увеличения скорости расширения будем в дальнейшем называть точкой Λ . Эффект резкого возрастания скорости фотосферы отмечался в [3, 5] и объяснялся либо просветлением оболочки и возрастанием излучения в эмиссии, либо различием цветовой и спектрофотометрической температур.

Радиус фотосферы большинства сверхновых I около максимума блеска — от 0.7 до 1.2.10¹⁵ см; из нашей выборки только SN 1971g выделяется малым радиусом фотосферы. Эта сверхновая отличается низкой светимостью в максимуме, как видно из табл. 1. Так как расстояние до нее было принято таким же, как и для остальных сверхновых из скопления в Деве, то здесь мы имеем дело с реальным разбросом характеристик среди сверхновых I.



Рис. 3. Поведение раднуса фотосферы сверхновых 1. Раднус R в 10¹⁵ см, время после максимума блеска t — в сутках. Обозначения соответствуют порядковым номерам сверхновых в табл. 1.

Скорость расширения фотосферы на линейном участке для SN 1981b равна 7200 км/с, что существенно меньше скорости, определяемой по абсорбционному минимуму дублета Si II 6347—71 А, равной около 11000 км/с. Бранч [61] относит дублет Si II к умеренно сильным линиям, и его расчеты говорят о том, что абсорбционные минимумы таких линий должны показывать скорость на уровне фотосферы. Тогда найденное несоответствие означает, что принятые нами расстояния слишком малы и действительное значение постоянной Хаббла около 50 км/с Мпс, что близко к оценкам Бранча [3, 61]. Однако мы использовали также индивидуальные оценки расстояний до галактик, и оценки скорости фотосферы для сверхновых из этих галактик хорошо согласуются с остальными. По-видимому, положение абсорбционных минимумов не всегда соответствует скорости фотосферы. Во-первых, необходим учет дублетной структуры таких линий как Si II; влияние излучения коротковолнового компонента на Функцию источника длинноволнового может сильно изменить картину. Также необходимо отметить противоречие между полученным линейным расширением фотосферы и непрерывным уменьшением смещения абсорбционных линий, причем разные линии показывают различные скорости [3, 7, 52, 62]. Неопределенность в определении скорости фотосферы по спектральным линиям вносит возможная стратификация химического состава или, по крайней мере, стратификация условий возбуждения. Следует отметить, что наше значение скорости фотосферы находится в хорошем согласии со скоростью, определяемой по линиям железа, которая остается почти постоянной и равна приблизительно 8000 км/с [7]. Нелинейное расширение фоотсферы и последующее резкое сжатие естественно связать с усиливающейся ролью линий на фоне ослабевающего континуума. Заметим, что, начиная с точки Л. в спектоах сверхновых I происходят существенные изменения, которые отмечались в [52]; кооме того, влияние линий ходощо заметно на результатах широкополосной фотометрии. В точке Л начинается усиление покраснения, хорошо заметное на коивой показателя ивета (B-V), по-видимому это связано с эволющией интенсивности пика 4600 А относительно пика 5500 А. который появляется приблизительно в это время. Инфракрасные наблюдения [63] также показывают сушественные изменения: в точке Л наблюдается минимум на коивых блеска в диапазонах ЈНК, после чего блеск вновь возрастает. Причиной образования минимума авторы [63] считают широкополосное поглощение, вызванное одним неотождествленным элементом. Мустель и Чугай [5] обратили внимание на то, что диаграмма цвет-цвет, построенная по ультрафиолетовым данным для SN 1972е, свидетельствует о возрастании температуры за период между 16^d и 32^d. Итак, практически по всему спектру около точки Л происходят существенные изменения. Определение температур Псковским [57] по видимому диапавону, которое основывалось на поедположении о чистом рассеянии, по-видимому, справедливо только до точки Л. На рис. 2 видно, что начиная с точки Л расходятся определения температур, выполненные различными методами. Это говорит о том, что, начиная с точки Л предположение о чистом рассеянии непрерывного излучения фотосферы линиями становится не вполне корректным, появление чистой эмиссии в линиях приводит к занижению температуры, определяемой методом Псковского [57].

Если предположить, что фотосфера продолжает расширяться линейно и после точки Λ до точки K, то можно восстановить ход температуры после точки Λ . Соответствующая зависимость показана кривой с на рис. 2. Максимальное значение радиуса фотосферы для SN 1981b равно $3 \cdot 10^{15}$ см, температура у точки K около 5500 К. Интересно отметить, что после фазы 60^d разные определения температуры вновь хорошо согласуются, а радиус фотосферы линейно уменьшается. Эволюцию спектра SN 1972е можно разделить на три этапа: до точки Λ роль линий мала, мы имеем линейное расширение фотосферы; начиная с точки Λ линии усиливаются и после фазы 60^d вновь затухают, мы снова имеем линейный ход радиуса фотосферы.

Продолжая назад линейный участок зависимости радиуса фотосферы от времени, найдем, что для большинства сверхновых I начало расширения приходится на фазу — 15^d — — 20^d что хорошо согласуется с оценкой Псковского [64] по кривым блеска. 5. Поведение фотосферы сверхновых II. Поведение фотосферы 6-и сверхновых II показано на рис. 4. Большинство сверхновых имеет в максимуме блеска раднус фотосферы около $0.5 \cdot 10^{15}$ см и скорость расширения около 4500 км/с. Выделяется большим размером фотосферы SN 1979с — как видно из табл. 1, самая яркая из рассмотренных сверхновых II, по светимости в максимуме блеска превосходящая многие сверхновые I. В то же время скорость расширения фотосферы в первые 20^d после максимума для нее меньше, чем для остальных сверхновых II около 3000 км/с. По-видимому, строение оболочки этой сверхновой отличается от большинства сверхновых II. Через 50^d — 60^d после максимума похазатель цвета (B—V), для разных сверхновых II сильно различается. Скорее всего эти различия связаны с разной интенсивностью вмиссионных линий, и определение температуры по (B—V), в этот период вряд ли корректно.



Рис. 4. Поведение радиуса фотосферы сверхновых II. Обозначения ссответствуют порядковым номерам сверхновых в табл. 1.

Продолжение линейного участка зависимости радиуса фотосферы от времени для большинства сверхновых II дает время начала расширения около $10^d - 15^d$ до максимума блеска. Однако для SN 1979с подобное продолжение оказывается несостоятельным: оно дает очень большое время начала расширения — около -40^d , и радиус фотосферы за 15^d до максимума блеска ~ 10^{15} см, однако известно, что в вто время блеск сверхновой был > 17^m 5, следовательно радиус фотосферы при любой температуре был < 10^{14} см. Таким образом, на ранних стадиях эволюции сверхновых возможны изменения в характере поведения фотосферы.

6. Заключение. В результате анализа наиболее надежных фотометрических данных для сверхновых I и II типов нами исследовано изменение со временем раднуса и температуры фотосферы. Показано, что до фазы $13^d - 15^d$ (точка λ) расширение фотосферы сверхновых I происходит аннейно, затем начинается резкое ускорение, сменяющееся после точки K резким сжатием, переходящим в более медленное в период «спокойной» эволюции спектра ($t > 60^d$). Наиболее вероятное объяснение этого — затруднения в определении температуры после точки λ .

Наличие характерной для сверхновых I точки Λ , положение которой связано с эволюцией спектра, по-видимому, отражает изменения в условиях формирования излучения. Возможно, она отражает момент, когда оболочка переходит в режим оптически тонкого излучателя. На это указывает и то, что до этой точки поведение кривых блеска и цвета сверхновых I и II типов различается несущественно [17].

Для сверхновых I и II определены следующие характерные параметры около максимума блеска:

Тип сверхновых	T	R_{ϕ} , 10 ¹⁵ cm	V _ф , км/с	Фаза начала расширения
I	~23 000	0.9	7500	-16 ^d
П	~20 000	0.5	4500	-10 ^d

Однако некоторые сверхновые показывают значительные отклонения от этих параметров. Например, SN I 1971g, отличающаяся малой светимостью, имела $R_{\bullet} \approx 0.5 \cdot 10^{15}$ см. SN II 1979с, отличающаяся быстрым падением блеска после максимума и высокой светимостью, характеризуется малой скоростью расширения (~3000 км/с) и большим (~1.7 · 10¹⁵ см) радиусом фотосферы.

Государственный астрономический институт им. П. К. Штериберга

ON THE BEHAVIOUR OF PHOTOSPHERE OF SUPERNOVAE

O. S. BARTUNOV, D. YU. TSVETKOV

The behaviour of photospheric radius of 14 type I and 6 type II supernovae is investigated. It has been shown that near maximum light the photospheric radius increases linearily with a velocity of about 7000 km/s for type I and 4500 km/s for type II. The values of photospheric radius and moments of the beginning of expansion are obtained; the differences between supernovae are taken into consideration. Dif-

9-571

ferent methods of temperature determination, the connection of spectral evolution with behaviour of the photosphere and temperature determinations are discussed.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. J. C. Wheeler, Supernovae: A Survey of Current Research. Dordrecht, 1982, p. 167.
- 2. D. Branch, Supernovae: A Survey of Current Rasearch. Dordrecht, 1982, p. 267,
- 3. D. Branch, B. Patchett, M. N. RAS, 161, 71, 1973.
- 4. R. P. Kirshner, J. Kwan, Ap. J., 193, 27, 1974.
- 5. Э. Р. Мустель, Н. Н. Чугай, Астрон. ж., 52, 673, 1975.
- 6. D. Branch, S. W. Falk, M. L. McCall, P. Rybski, A. Uomoto, B. J. Wills, Ap. J., 244, 780, 1981.
- D. Branch, C. H. Lacy, M. L. McCall, P. G. Sutherland, A. Uomoto, J. C. Wheeler, B. J. Wills, "The Type I Supernova 1981b in NGC 4536. The First Hundred Days." Preprint, 1982.
- 8. A. Sandage, G. Tammann, Ap. J., 256, 339, 1982.
- 9. W. Baade, F. Zwicky, Ap. J., 88, 411, 1939.
- 10. M. Beyer, Astron. Nachr., 268, 341, 1939.
- 11. D. Mihalas, P. A. S. P., 75, 256, 1963.
- 12. D. Mihalas, P. A. S. P., 74, 116, 1962.
- 13. G. de Vaucouleurs, Ap. J., 227, 729, 1979.
- 14. G. de Vaucouleurs, J. Solheim, R. Brown, Астрофизика, 3, 565, 1967.
- 15. R. Barbon, F. Ciatti, L. Rosino, Mem. S. A. It., 44, 65, 1973.
- 16. И. Дубяю, С. Тохтасьев, IBVS No. 1062, 1975.
- 17. Д. Ю. Цветков, Переменные ввезды, 1985 (в печати).
- G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, G. S. Brown, Astrophys. Lett., 9, 77, 1971.
- 19. Д. Ю. Цветков, Переменные звезды, 22, 39, 1983.
- 20. B. Deming, B. W. Rust, E. C. Olson, P. A. S. P., 85, 321, 1973.
- J. L. Serstc, M. Pastorisa. G. Carranza, Preprint No. 1, Observatorio Astronomico, Cordoba, Argentina, 1972.

al heat ...

- 22. A. Ardeberg, M. de Groot, Astron. Astrophys., 28, 295, 1973.
- 23. A. M. van Genderen, Astron. Astrophys., 45, 429, 1975.
- 24. L. Kohoutek, C. T. Kowal, P. A. S. P., 90, 565, 1978.
- 25. F. Ciatti, L. Rosino. Astron. Astrophys:, 57, 73, 1977.
- 26. B. Patchett, R. Wood, M. N. RAS, 175, 595, 1976.
- 27. В. М. Лютый, Астрон. цирк., № 906, 1976.
- 28. L. Thompson, IAU Circ., No. 2866, 1975.
- 29. G. Wegner, M. N., 181, 677, 1977.
- 30. F. Ciatti, L. Rosino, Astron. Astrophys., Suppl. ser., 34, 387, 1978.
- 31. A. U. Landolt, L. P. Connolly, IAU Circ., No. 3556, 1981.
- 32. E. W. Olszewski, IBVS, No. 2065, 1981.
- 33. Д. Ю. Цветков, Письма АЖ, 8, 219, 1982.
- 34. R. J. Buta, A. Tur ner, P. A. S. P., 95, 72, 1983.
- 35. R. Barbon, F. Ciatti, L. Rosino Astron. Astrophys., 116, 35, 1982.
- 36. Д. Ю. Цветков, Астрон. цирк., № 1274, 1983.

130

- 37. R. Cadonau, C. Trefzger, IBVS, No. 2382, 1983-
- 38. Д. Ю. Цветкон, Астрон. ж., 1985 (в печати).
- 39. H. Corwin, IAU Circ., No. 3795, 1973.
- 40. C. J. Peterson, IAU Circ., No. 3814, 1983.
- 41. H. Arp. Ap. J., 133, 883, 1961.
- 42. R. Wood, P. Andrews, M. N. RAS, 167, 13, 1974.
- 43. F. Ciatti, L. Rosino, F. Bertola, Mem. S. A. It., 42, 163, 1971.
- 44. R. M. Humphreys, S. E. Strom, The Most Massive Stars, Garching, 1981, p. 245_
- 45. R. Barbon, F. Ciatți, L. Rosino, Astron. Astrophys., 29, 57, 1973.
- 46. J. Winzer, J. Roy. Astron. Soc. Canada, 68, 37, 1974.
- G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. D. Ables, A. V. Hewitt, P. A. S. P., 93, 36, 1981.
- 48. И. С. Балинская, К. В. Бычков, С. И. Неизеестный, Astron. Astrophys., 85, L19, 1980.
- 49. R. J. Buta, P. A. S. P., 94, 578, 1982.
- 50. G. de Vaucouleure, Ap. J., 253, 520, 1982.
- 51. D. Burstein, C. Heiles, A. J., 87, 1165, 1982.
- 52. R. P. Kirshner, J. B. Oke, M. V. Penston, L. Searle, Ap. J., 185, 303, 1973.
- 53. G. Lasher, Ap. J., 201, 194, 1975.
- 54. A. H. Karp, G. Lasher, K. L. Chan, Ap. J., 214, 161, 1977.
- 55. К. У. Аллен, Астрофиянческие величины, Мир, М., 1977.
- 56. 9. P. Mycmers, H. H. Yyran, Astrophys. Space Sci., 32, 25, 1975.
- 57. Ю. П. Псковский, Астрон. ж., 1984 (в печати).
- 58. E. Dwek, M. F. A'Hearn, E. E. Becklin et al., Ap. J. 274, 168, 1983.
- 59. B. W. Carney, P. A. S. P., 92, 56, 1980.
- R. P. Kirshner, S. P. Willner, E. E. Becklin, G. Neugebauer, J. B. Oke, Ap. J., 180, L97, 1973.
- 61. D. Branch, M. N. RAS, 186, 609, 1979.
- 62. T. Richter, E. M. Sadler, Astron. Astrophys. 128, L3, 1983.
- 63. J. H. Elias, J. A. Frogel, J. A. Heckwell, S. E. Persson, Ap. J., 251, L13, 1981.
- 64. Ю. П. Псковский, Астров. ж., 54, 1188, 1977.