

Переменные звезды 20, 133–141, 1975
Variable Stars 20, 133–141, 1975

**V 367 Щита – цефеида с двойной периодичностью
 в рассеянном скоплении NGC 6649**

Ю.Н. Ефремов, П.Н. Холопов

Найдено, что фотометрическое поведение V 367 Sct объясняется наложением на кривую блеска с основным периодом $6^{\text{d}}.2930$ колебаний с вторичным периодом $4^{\text{d}}.3849$ (рис. 1 и 2). Звезда принадлежит к группе двухпериодных цефеид (типа TU Cas) и ее принадлежность к молодому скоплению, положение на диаграмме цвет-светимость и соответствие зависимостям период-светимость и период-возраст позволяют заключить, что цефеиды этой группы относятся к классическим.

Double Mode Cepheid V367 Scuti in Open Cluster NGC 6649
by Yu.N. Efremov, P.N. Kholopov

Some years ago we have found for V367 Sct the period $6^{\text{d}}.2930$ and suggested that scatter of its light curve is caused by a secondary period. Our conclusions were disputed by Tamman who obtained period $5^{\text{d}}.118$ and somewhat peculiar light curve and recently by Madore and van den Bergh who found period $5^{\text{d}}.2551$ rejecting a number of observations. However both periods contradict to 320 photographic observations of V367 Sct that are at our disposal. The plates were obtained during JD 2418529–42303.

Using the published photoelectric observations we have searched for secondary period of V367 Sct. The periodicity in the set of residuals relative to a mean curve corresponding to period $6^{\text{d}}.2930$ (fig. 1) was searched for, the computer programme X-3a being used. In the interval $1^{\text{d}}.5-10^{\text{d}}$ only two possible periods, $4^{\text{d}}.3802$ and $4^{\text{d}}.3849$, were found. It were the photographic observations that permitted to ascertain that secondary period is $4^{\text{d}}.3849$. The period ratio 0.696 is close to that for all beat cepheids and we believe that period 6.2930 is fundamental one whereas period 4.3849 corresponds to first overtone. The photoelectric light curves (fig. 1b and 1c) were derived by Stobie's iterative technique. The photographic light curves are given at figure 2.

The star has the longest period among double mode cepheids and strongly suggests the increasing of Q with period (fig. 7). It is the only beat cepheid in open clusters. The membership of V367 Sct in young cluster and its position in the color-magnitude diagram (fig. 4) indicate that beat cepheids are classical ones.

The pulsational Q -mass of V367 Sct is about 2–2.5 in solar units whereas evolutionary mass of a 6-day cepheid is about 6, and the star conform to period-luminosity (fig. 5) and period-age (fig. 6) relations for classical cepheids. There is probably something wrong in determinations of pulsational mass of beat cepheids.

The membership of V367 Sct in a cluster implies the star is a clue to the nature of beat cepheids and deserves exceptional attention.

Переменность V367 Sct—звезды № 64 (Каффи, 1940) в рассеянном скоплении NGC 6649 обнаружили Рослунд и Преториус (1963) при установлении фотоэлектрического стандарта звездных величин в скоплении. Они опубликовали 25 измерений блеска V и цвета $B-V$ этой звезды и заключили, что она может быть цефеидой с периодом в 5–6 дней и членом скопления, судя по ее положению на диаграмме цвет-величина. Последний вывод получили также Пик-Син-Цзе и Рослунд (1963), опубликовавшие результаты фотометрии скопления.

В 1964 г. мы начали фотографирование области NGC 6649 на 40-см астрографе Крымской станции ГАИШ, продолжающееся до сих пор, и по нашей просьбе проф. В. П. Цесевич оценил блеск звезды на пластинках Симеизской коллекции, хранящихся на Одесской обсерватории. Проведенные в 1967 г. попытки определения периода первоначально не дали результата: получавшиеся по фотоэлектрическим измерениям Рослунда и Преториуса (1963) периоды ($5^d.30$ и др) не удовлетворяли фотографическим наблюдениям. Успех принесло лишь применение программы поисков периодов, составленной одним из авторов для ЭВМ "Стрела"; оказалось, что в интервале от 1 до 10 дней лишь значение $6^d.2930$ представляет наблюдения, охватившие тогда интервал JD 2418529–39342. Однако и этот период дает среднюю кривую с разбросом, значительно превышающим ошибки наблюдений, и фотоэлектрические наблюдения показывают, что кривая блеска меняется от цикла к циклу. Поэтому мы пришли к выводу, что переменная, подобно TU Cas, является цефеидой с двумя периодами, но для определения значения вторичного периода было недостаточно данных (Холопов, Ефремов, 1967).

Тамманн (1969) опубликовал 10 фотографических и 5 фотоэлектрических наблюдений V367 Sct; по ним и по наблюдениям Рослунда и Преториуса он нашел период $5^d.118$. Кривая блеска, однако, получилась нетипичной для цефеиды с периодом 5 дней и этот период не представляет наши наблюдения. В письме одному из нас Тамманн согласился с тем, что не решил проблему V367 Sct.

Наконец, недавно Мадор и ван ден Берг (1975) исследовали NGC 6649 и связанную с ним цефеиду, для которой они получили 38 фотоэлектрических UB V -наблюдений. Они заключили, что наш шестидневный период не годится и, используя свои наблюдения, а также Рослунда и Преториуса (1963) и Тамманна (1969), получили период $5^d.2551$. Им пришлось, однако, выкинуть 12 наблюдений Рослунда и Преториуса, что они оправдывают возможным резким изменением периода. Период $5^d.2551$ также не представляет фотографические наблюдения, которых теперь около 320 на интервале JD 2418529–41926 (таблицы 2 и 3); (кроме того 5 измерений Талберта (1975) получены в JD 2442282–423 03).

Период $6^d.2930$, однако, представляет наблюдения Мадора и ван ден Берга, хотя и с большим разбросом, как и предшествующие фотоэлектрические наблюдения (рис. 1а), и все они были использованы для поисков вторичного периода, вызывающего, по нашему мнению, этот разброс. С помощью программы поисков периодов X-3а (Холопов, 1970) на ЭВМ БЭСМ-4М Вычислительной лаборатории ГАИШ искалась

периодичность в отклонениях отдельных наблюдений от средней кривой, построенной с периодом $6^d.2930$. В интервале периодов от 1,5 до 10 дней были найдены два возможных значения периода, $4^d.3802$ и $4^d.3849$ и только фотографические наблюдения позволили сделать выбор между ними. Они показывают, что на всем интервале JD 2418529–42303 отклонения от средней кривой блеска представляются периодом $4^d.3849$. Фотоэлектрическая кривая, соответствующая этому вторичному периоду приведена на рис. 1б, а кривая с периодом $6^d.2930$, освобожденная от вторичной периодичности – на рис. 1с; обе кривые получены с последовательным приближением, подобно тому как это делал Стоби (1970); оказалось достаточно двух приближений. Отношение периодов составляет 0,696, что очень близко к отношению периодов у других цефеид этого типа (см. например, Петерсен, 1973) и это укрепляет нашу уверенность в том, что период $6^d.2930$ является фундаментальным, а период $4^d.3849$ соответствует первому обертону, и что звезда не является, подобно CE Cas, двойной цефеидой. Оба периода постоянны на интервале около 24000 дней.

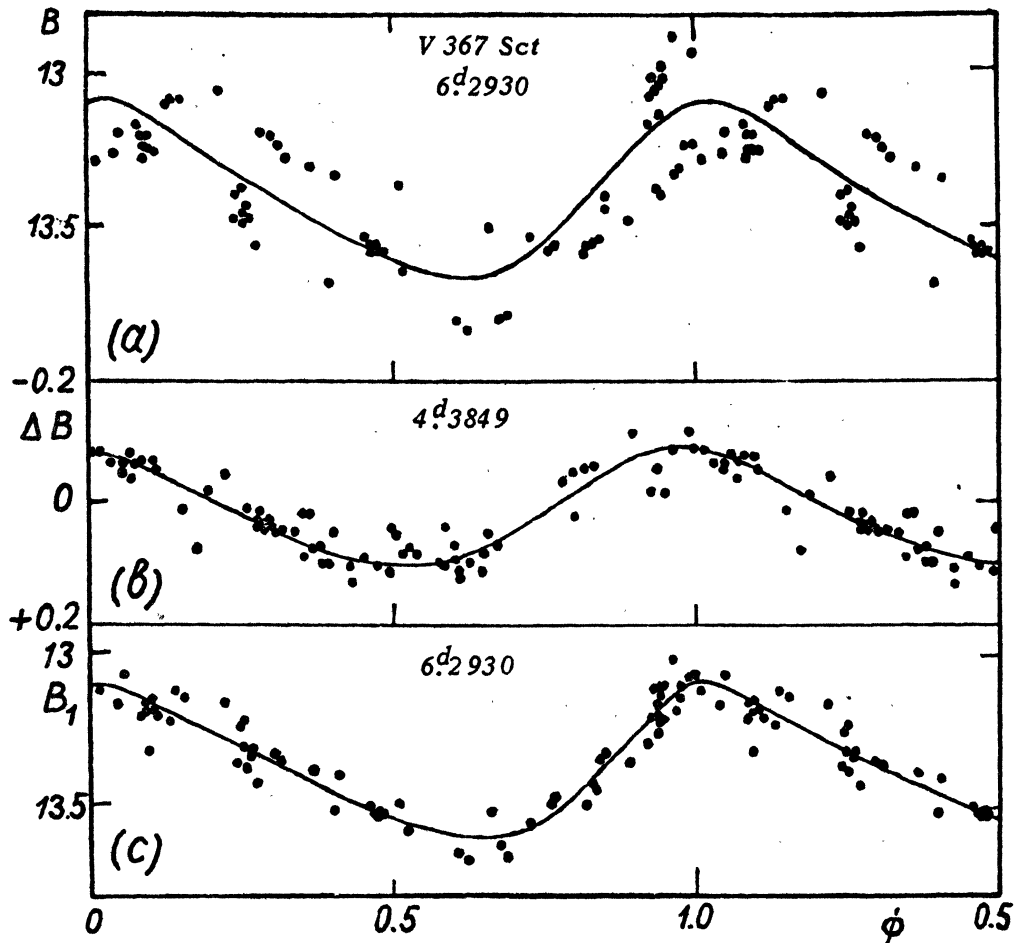


Рис. 1. Фотоэлектрические кривые блеска V367 Sct.

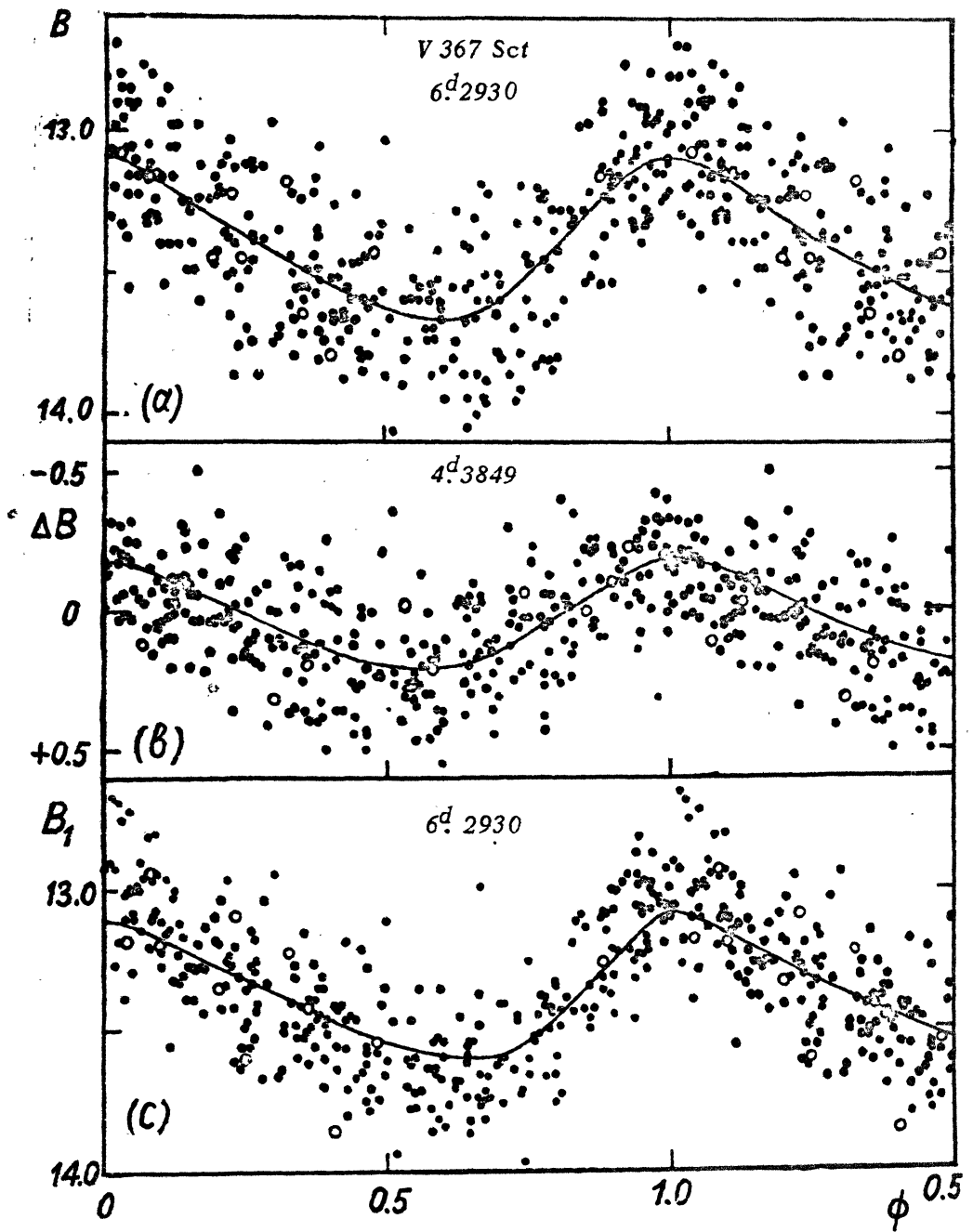


Рис. 2. Фотографические кривые блеска V367 Sct.

Таким образом, изменения блеска V367 Sct представляются следующими элементами:

$$\begin{aligned} \text{Max}(P_0) &= \text{JD } 2439318.223 + 6^{\text{d}}.2930 \text{ E}; & \Delta B &= 0^{\text{m}}.54, \\ \text{Max}(P_1) &= \text{JD } 2439320.613 + 4.3849 \text{ E}; & \Delta B &= 0.41. \end{aligned}$$

Рисунок 2, аналогичный рисунку 1, показывает, как оба периода представляют фотографические наблюдения; средние линии соответствуют фотоэлектрическим кривым, а немногочисленные наблюдения Тамманна и Тальберта показаны кружками. Карта окрестностей дана на рисунке 3, блеск и цвет использовавшихся нами звезд сравнения — в таблице 1; в первом столбце приведены номера звезд по Каффи (1940), во втором — величины В по Пик Син Цзе и Рослунду (1963), использовавшиеся нами, в третьем и четвертом — величины В и В-V по Мадору и ванден Бергу (1975).

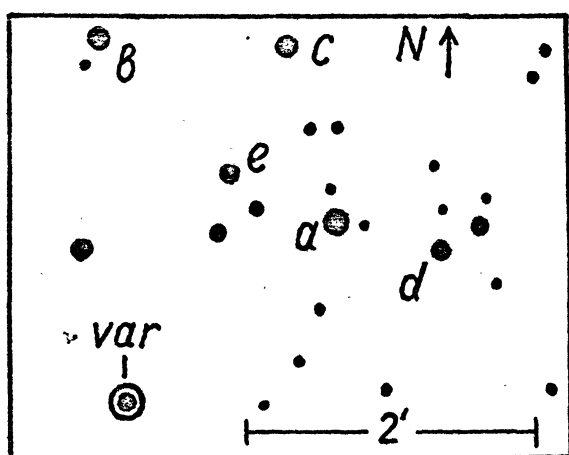


Таблица 1

* Cuffey	B	B	B-V	
a	9	12.97	13.07	1.30
b	58	(13.47)	13.52	1.32
c	28	13.66	13.69	1.34
d	19	13.75	13.89	1.78
e	33	13.85	14.00	1.24

Рис. 3. Карта окрестностей V367 Sct.

V367 Sct уникальна еще и в том отношении, что это — единственная цефеида с двойной периодичностью среди членов рассеянных скоплений. Положение звезды на диаграмме скопления и светимость, полученная по расстоянию скопления (рис. 4 и 5), согласуются с предположением о их физической связи. Таким образом, исследование V367 Sct может пролить свет на эволюционный статус цефеид с двойной периодичностью. Низкие значения масс, (около 1–2 массы Солнца), получаемые для них из отношения периодов, привели к предположению (Петерсен, 1973), что это не классические цефеиды, а аналог звезд типа RR Лиры в населении I. Однако принадлежность звезды к молодому скоплению, положение на его диаграмме цвет-величина (где разность в блеске между цефеидой и ярчайшими звездами главной последовательности, впрочем, несколько меньше, чем в большинстве случаев) и соответствие ее зависимостям период-светимость и период-возраст (рис. 5 и 6) для классических цефеид позволяет отнести V367 Sct именно к последним. По рис. 1 из работы Петерсена (1973) массу V367 Sct, однако, можно оценить в 2–2.5 солнечных, тогда как эволюционная масса ее, судя по периоду и по положению на диаграмме скопления (рис. 4) составляет 6 солнечных. По-видимому, это означает, что с определениями пульсационных масс двухпериодных цефеид из отношения периодов что-то неладно.

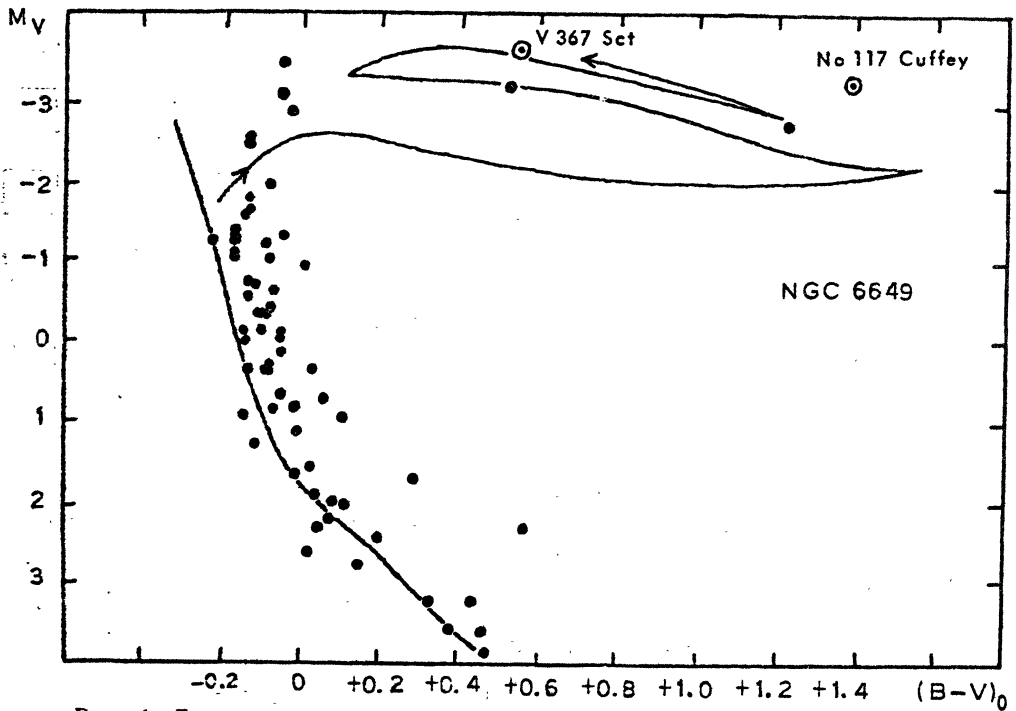


Рис. 4. Диаграмма цвет-светимость NGC 6649, построенная по данным Мадора и ван ден Берга (1975). Нанесены отрезок эволюционного трека для 5 солнечных масс (по Пбену) и начальная главная последовательность.

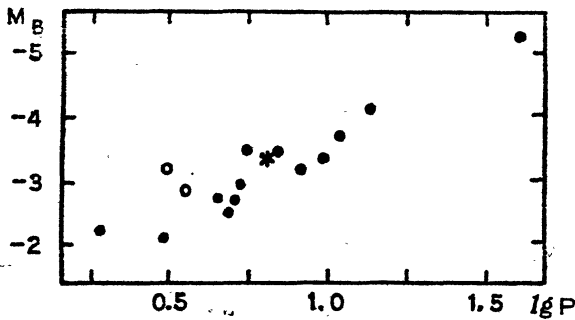


Рис. 5. Положение V 367 Sct (отмечена звездочкой) на зависимости период-светимость Сендиджа и Таммана (1968), к которой добавлены SZ Таи и GU Нор.

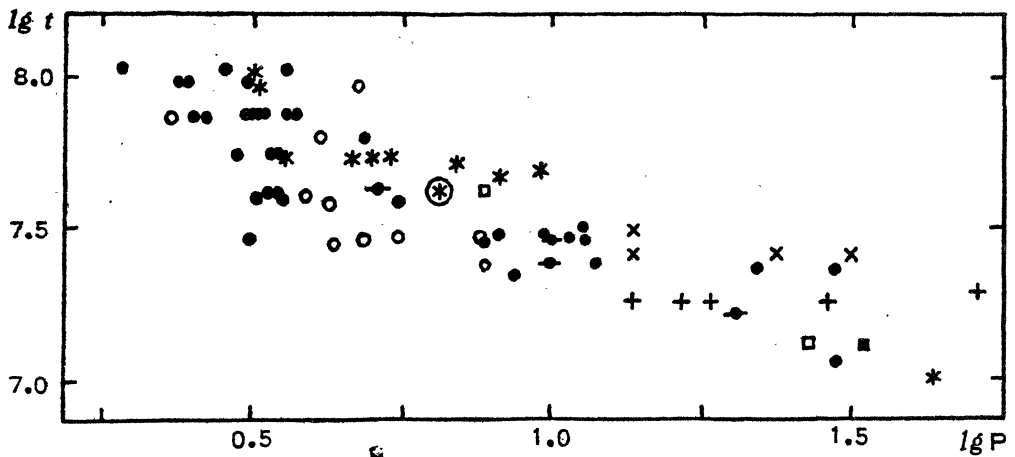


Рис. 6. Положение V 367 Sct (отмечена звездочкой в кружке) на зависимости период-возраст Ефремова (1975). * - цефеиды скопления Галактики, \circ - цефеиды скопления в Магеллановых Облаках, + X - цефеиды ассоциаций MO, \square - цефеиды скопления M31.

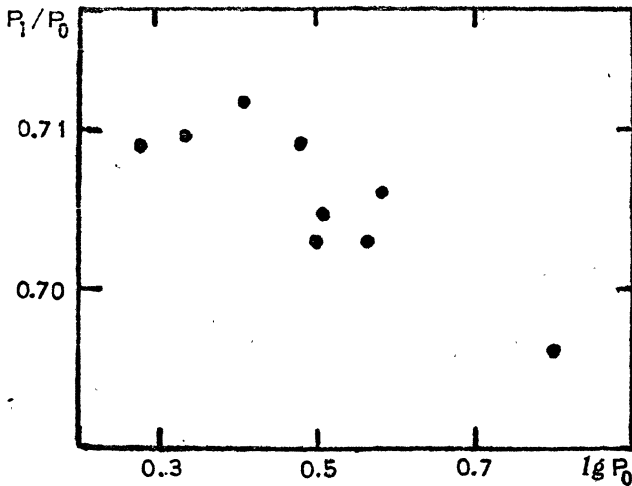


Рис. 7. Зависимость P_1/P_0 от P_0 по данным Петерсена (1973), на которую нанесена V367 Sct.

Звезда обладает существенно большим периодом, чем другие цефеиды с двойной периодичностью — у всех остальных периоды заключены в интервале 1.9–3.7 дней (Петерсен, 1973). По-видимому, поэтому Мадор и ван ден Берг даже не попытались проверить предположение о двойной периодичности.

Отношение периодов $P_1/P_0 = 0.696$, несколько меньшее, чем у остальных двухпериодных цефеид (рис. 7), подкрепляет вывод теории (см., например, работу Парсонса и Бауса (1971)) о возрастании пульсационной постоянной Q с периодом.

Таким образом, звезда заслуживает исключительного внимания; всестороннее изучение V367 Sct и связанного с ней скопления должно привести к решению проблемы цефеидных масс и природы цефеид с двойной периодичностью.

Таблица 2

Наблюдения Р.П.Цесевича.

JD 24...	m_{pg}	JD 24...	m_{pg}	JD 24...	m_{pg}	JD 24...	m_{pg}
18529.369	13 ^m 65*	24351.350	13 ^m 31:	25115.261	12 ^m 85	28596.477	12.98*
20283.494	13.55*	24352.373	13.34*	26131.484	13.35*	28702.470	13.16*
20300.443	12.91	24358.360	13.46*	26599.249	13.44*	28718.433	13.55*
20301.465	13.38*	24393.296	13.91	26857.485	13.15*	28720.438	13.17:
20304.438	13.56*	24387.304	13.57	26897	13.20*	29073.454	12.95*
20688.426	13.84*	24435.242	13.12*	26915	13.00	29075.451	13.72*
20711.327	13.13	24650.461	13.22*	26928	13.07*	29079.431	13.22*
21041.461	13.50:	24668.425	13.38*	26949	13.41*	29456.365	13.23*
21394.463	13.30*	24669.497	13.35*	27302.353	13.62:	29814.384	13.24:
22492.381	13.12	24678.470	13.94	27931.412	13.55*	32732.363	13.80*
23224.430	13.46*	24680.437	12.95*	27947.380	13.24:	32742.349	13.16*
23226.484	13.18*	24682.399	13.46*	27980.452	13.55*	33098.377	13.27*
23579.370	13.00:	24702.391	13.46	27987.467	13.42*	33446.457	13.11*
24296.434	13.06*	24702.455	13.22	27992.438	13.56	33447.434	13.29
24321.375	13.17*	24712.471	13.22*	28009.336	13.09*	34183.444	13.56*
24332.460	13.60*	24726.302	13.76	28011.384	13.11	34184.436	13.22*
24343.327	13.70	24727.425	13.63*	28013.420	13.43*	34189.396	13.11*
24346.412	12.93	24729.342	13.32	28018.340	13.44*	34212.336	13.38*
24347.332	13.20*	24740.306	13.63	28347.444	13.19	34306	13.72
24349.339	13.55:	24772.269	13.52*	28361.346	13.54		

*) Оценки являются средними из измерений на двух полученных одно- временно пластинках.

Наблюдения Ю. Н. Ефремова.

Таблица 3

JD 24...	m _{pg}	JD 24...	m _{pg}	JD 24...	m _{pg}	JD 24...	m _{pg}
32826.343	13.40	40294.503	13.03	40445.30	13.31	41185.368	13.60
832.378	13.23:	297.480	13.54	447.30	13.26	187.343	12.81
853.314	13.60:	301.482	13.80:	450.31	13.2:	.375	13.06
856.189	13.40:	302.430	13.37	452.30	13.20	188.341	12.98
33098.483	13.56	.466	13.31	454.32	13.9	.373	13.12
114.372	13.39	318.402	12.90	505.218	13.81	236.232	13.42
117.339	13.68	321.339	13.57:	506.218	13.80	237.206	13.33
123.403	13.66	.376	13.03:	508.197	12.8	238.218	13.30
141.396	13.79	323.443	13.31:	774.358	13.53	239.218	13.49
482.500	14.00	325.427	13.25	.392	13.74	240.210	13.51
.556	13.95	.466	13.25	782.436	13.96	241.209	13.50
483.345	13.66	326.442	13.75	.469	13.88	245.246	13.12
484.392	12.80	.482	13.73	793.363	13.51	246.219	13.44
498.452	13.16	327.422	13.85	794.399	13.70	477.409	12.90
501.333	13.66	.464	13.80	797.364	13.06	.447	13.06
502.487	12.97	328.448	13.75	.402	13.06	479.447	13.6
527.374	13.36	329.354	13.20	798.447	13.22	.477	13.70
528.365	12.92:	.398	13.24	799.337	13.60	483.454	13.0
.392	13.05	.436	13.24	.373	13.49	484.441	13.5
533.372	13.60	330.364	13.20	800.437	13.81:	.476	13.6
.427	13.47	.403	13.24	802.421	13.29	485.454	13.1
37112.419	13.72	334.448	13.54	803.347	12.98:	501.368	13.2
116.442	13.40	342.292	13.28	.379	12.81	508.391	12.9:
197.243	12.97	642.418	14.07	808.354	13.49	.433	13.0:
198.240	12.85:	647.438	13.70	.389	13.81	512.445	13.4
38582.346	13.10:	653.441	13.13	828.275	13.28	.477	13.3
.382	13.16	667.375	13.59	.310	12.98	514.346	13.0
.483	13.3:	674.428	13.95	829.347	13.17	.382	13.25:
.510	13.12:	675.449	13.32	833.264	13.44	515.433	13.49
584.392	13.34	676.379	13.08	.318	13.79:	.466	13.49
587.379	13.53	677.438	13.32	838.289	13.60	517.433	13.60
588.319	12.7	678.414	13.86	.333	13.60	.465	13.37
589.306	13.24	687.413	13.86	41129.447	13.60	519.448	13.68
590.342	13.44	700.346	13.86	130.443	13.15	.480	13.85
591.397	13.87	702.361	12.85	.478	13.15	520.478	13.40
592.340	13.42	40033.391	14.05	131.427	13.06	.512	13.33
.494	13.51	034.398	13.80	.468	12.98	565.245	12.90
621.352	13.75	036.359	13.54	132.449	13.38	566.241	13.51
936.457	13.62	037.380	13.86	133.400	13.60	567.240	13.81
940.432	13.13	056.429	12.97	159.389	13.74	568.233	13.85:
942.457	13.13	060.457	13.20:	.422	13.74	569.238	13.79
943.501	13.47	062.488	13.37	160.366	13.70	570.239	13.22
944.390	13.62	064.473	13.86	.397	13.96	571.251	13.30
947.435	12.77	055.436	13.20	161.370	13.38	573.248	13.67
964.297	13.66	096.325	13.54	162.393	12.90	837.484	13.22
965.349	12.77	097.325	13.29:	.425	12.81	839.474	13.86
966.364	13.05	098.321	13.31:	163.372	13.42	865.440	13.83
968.293	13.66	386.437	13.31	176.371	13.38:	868.477	13.30
972.293	12.97	.460	13.70	177.339	13.74:	869.461	13.67
39053.184	13.13	387.403	13.59	.373	13.88:	873.417	13.33
055.187	13.47	.426	13.17	180.297	13.25	888.368	13.65
056.186	13.55	390.435	13.17:	.330	13.33	894.408	13.22
060.174	13.22	392.475	13.8	181.372	13.25	916.304	12.98
062.192	13.35	393.435	13.54	182.383	13.65	918.314	13.60:
069.175	13.47:	412.446	12.90	183.352	13.49	919.361	13.50
.186	13.66:	420.491	13.28	.386	13.37	924.317	13.06
290.466	13.70	425.404	12.90	184.340	13.60	926.328	13.67
292.434	13.54	427.402	13.70	.373	13.60		
294.464	13.09	444.295	13.35	185.335	13.65		

Мы благодарны В. П. Цесевичу за оценки блеска V367 Sct на Симеизской коллекции негативов.

Литература:

- Ефремов Ю. Н., 1975, Труды 3-й Европейской астроном. конференции, Тбилиси.
Каффи, 1940 — Cuffey J., ApJ 92, 303.

- Мадор, ванден Берг, 1975 – Madore B.F., van den Bergh S., ApJ 197, 55.
 Парсонс, Баус, 1971 – Parsons S.B., Bows G.D., MN 152, 133.
 Пик-Син Цзе, Рослунд, 1963 – Pik-Sin The, Roslund C., Bosscha
 Contr. №19.
 Петерсен, 1973 – Petersen O., Astr. Ap. 27, 89.
 Рослунд, Преториус, 1963 – Roslund C., Pretorius W., Lunds Med.
 Ser. 1, №205.
 Сендидж, Тамманн, 1968, – Sandage A., Tammann G.A., ApJ 151,
 531.
 Стобби, 1970 – Stobie R., Obs. 90, 20.
 Тальберт, 1975 – Talbert F.D., PASP 87, 341.
 Тамманн, 1969 – Tammann G.A., Astr. Ap. 3, 308.
 Холопов П. Н., 1970 – Труды ГАИШ 40, 72.
 Холопов П. Н., Ефремов Ю. Н., 1967, АЦ № 437.

Гос. Астрономический ин-т
 им. П.К.Штерберга

*Поступила в редакцию
 25 сентября 1975 г.*