

О нуль-пункте кривой период — светимость
для долгопериодических цефеид плоской составляющей
(1-го типа населения)

О. А. Мельников

Пользуясь соотношениями: 1) светимость — радиус — температура, 2) ускорение силы тяжести — масса — радиус и 3) период — плотность, вычисляются светимости долгопериодических цефеид при различных значениях постоянной Q в последней зависимости. При этом основные данные о T и g берутся из наблюдений спектров и лучевых скоростей.

Вычисления показывают, что при $Q = 0.04$, т. е. для стандартной модели, поправка к кривой период — светимость X . Шепли 1930 г. получается равной $\Delta M_p = -0^m.51$. Это значение совпадает с тем, что было получено автором в 1944 г. по совершенно другому материалу и другими методами. При значениях $Q = 0.08$ и более, т. е. для модели с меньшей концентрацией массы к центру звезды (или с большой примесью тяжелых элементов), поправка ΔM_p получается положительной и очень большой, что представляется мало вероятным.

On the Zero-point of the Period — Luminosity Curve for Long-period Cepheids of the Flat Subsystem (population 1)

O. A. Melnikov

Using the relations: 1) luminosity — radius — temperature, 2) acceleration of gravity — mass — radius, 3) period — density, the luminosity of long-period Cepheids was calculated for different values of the constant Q of the period — density relation. The main data on T and g were taken from observations of the spectra and radial velocities.

Calculations show that for $Q = 0.04$, i. e., for a standard model, the correction to Shapley's 1930 period — luminosity curve is $\Delta M_p = -0^m.51$. This value coincides with that found by the author in 1944 using totally different data and other methods. For values of $Q = 0.08$ and larger, i. e., for models with a lower concentration of mass towards the center of the star (or with a larger admixture of heavy elements), the correction ΔM_p is positive and very large, which seems to be improbable.

Вопрос о нуль-пункте кривой период — светимость имеет непосредственно отношение к проблеме определения масштабов Большой Вселенной — Мета галактики и поэтому, в частности, его значение трудно переоценить.

После работы В. Бааде, доложенной им на съезде Международного Астрономического Союза 1952 г. в Риме, и в кратком изложении, напечатанном в 1956 г. на страницах публикаций Тихоокеанского астрономического общества, большинство астрономов считало, что поправка к нуль-пункту фотографической кривой период — светимость X . Шепли 1930 г. для долгопериодических цефеид 1-го типа населения, или плоской составляющей, составляет

$$\Delta M_p = -1^m.5.$$

В последние годы в исследованиях, посвященных этому вопросу, наметилась тенденция к обязательному подтверждению именно этого, не достаточно обоснованного, нуль-пункта кривой. Подобное положение не может быть признано удовлетворительным, так как может хотя бы отчасти затормозить правильное изучение вопроса.

Действительно, достаточно вспомнить тридцатые годы нашего столетия, когда астрофизики получили положительную поправку к нуль-пункту $\Delta M_p = +1^m.0$. В ряде работ наметилась тенденция к подтверждению этого не достаточно обоснованного нуль-пункта. Однако дальнейшие астрофизические и звездно-астрономические исследования показали, что полученный нуль-пункт в действительности ошибочен и связан с экранирующим действием межзвездной пылевой среды.

При более критическом подходе к вопросу о нуль-пункте астрофизики смогли бы гораздо раньше изучить свойства пылевой среды, ослабляющей свет звезд, и тем самым значение самого нуль-пункта кривой период — светимость сохранилось бы более близким к истинному.

Известная неопределенность в вопросе о нуль-пункте обусловлена тем, что применяющиеся методы и имеющийся материал по своему качеству не позволяют еще в настоящее время точно, хотя бы до десятой звездной величины, получить истинный нуль-пункт кривой. Например, вводя несколько большие поправки за экранирующее действие межзвездной пылевой среды, мы неизбежно получаем меньшие по абсолютной величине (т. е. более отрицательные) поправки нуль-пункта кривой период — светимость.

Сейчас, по-видимому, представляется возможным только указать на вероятное значение поправки нуль-пункта, например, около $-0^m.5$. (О. А. Мельников, 1944 и Б. В. Кукаркин, 1949), $-1^m.0$ (П. П. Паренаго, 1955), $-1^m.5$ (В. Баадэ, 1952—1956) и др.

Для иллюстрации мы приводим табл. 1, в которой указаны авторы, годы работ и поправки ΔM_p к нуль-пункту фотографической кривой период — светимость Х. Шепли, 1930 г.

Мы даем оригинальные значения выведенных поправок, без вероятных ошибок (которые не всегда отражают в данном случае существо дела) и без редукции на общую систему, которая затруднительна, если, конечно, быть достаточно объективным.

Таблица 1

Автор	Год	Поправка ΔM_p	Автор	Год	Поправка ΔM_p
Мельников	1944	$-0^m.5$	Уивер	1954	-1.6
Минер	1944	-0.7	Филин	1954	-1.8
Ком	1944	-0.1	Холопов	1954	0.0
Кукаркин	1949	-0.5	Шэпли, Маккиббен	1954	-1.6
Минер	1952	-1.3	Копылов,	1955	-1.9
Баадэ	1952	-1.5	Кумайгородская		
Текерей, Весселинк	1953	-1.2	Паренаго	1955	-1.0
		-0.7^*	Опольский, Кравицкая	1956	-1.4
Феррари д'Оккиеппо	1953	-0.2	Баадэ	1956	-1.5
Блау, Морган	1954	-1.4	Псковский	1957	-1.3
Валленквист	1954	-1.1	Бекер	1957	-1.5
Копылов	1954	-1.8	Зонн	1957	-1.2

* Это значение поправки получено из тех же данных П. П. Паренаго в 1954 г.

Автор первым, на основе изучения цефеидных спектров, движений цефеид в Галактике, их распределения в пространстве, параллаксов и т. д., настаивал на необходимости увеличения светимостей цефеид, т. е. введения отрицательной поправки [1^{-3}].

В дальнейших работах применялись разнообразные астрофизические и звездно-астрономические методы даже с привлечением данных для цефеид в Магеллановых облаках, а также модулей расстояний, определенных по

шаровым скоплениям, по абсолютным величинам Новых звезд в галактиках и т. д.

При этом использовались не только долгопериодические, но и короткопериодические цефеиды. Однако в табл. 1 содержатся результаты, полученные в большинстве случаев по долгопериодическим цефеидам.

К более поздним исследованиям относятся работы *В. Бааде* [4], *А. Ополского* и *Я. Кравицкой* [5], *Ю. П. Псковского* [6], *В. Бекера* [7] и *В. Зонна* [30].

Бааде основывается на изучении ближайших галактик, *Ополский* и *Кравицкая* — на оценках радиусов и температур δ Сер и η Aql по данным наблюдений. *Псковский* сравнивает спектроскопические характеристики долгопериодических цефеид и псевдоцефеид (сверхгигантов или с-звезд) и, наконец, *Бекер* и *Зонн* исходят из наблюдаемых закономерностей между галактическим поглощением и модулями расстояний или расстояниями звезд, показывающих распределение в пространстве, сходное с таковым у цефеид.

В своих работах по вопросу о нуль-пункте авторы проявляют необходимое остроумие и тщательность, однако несмотря на это получаемые поправки все же представляются неуверенными. В некоторых случаях они оказываются приемлемыми, но лишь для локальных мест Вселенной и не могут быть распространены на всю наблюдаемую часть Вселенной. Именно так обстоит дело с поправкой $\Delta M_p = -1^m.5$ *В. Бааде*, как это справедливо отмечают *М. Л. Юмассо*, *А. Р. Сандейдж* и *Н. У. Мейалл* [8] при изучении красного смещения в спектрах галактик и соответственно вычислении их «коэффициента экспансии».

В вопросе о нуль-пункте имеются и некоторые методические трудности, на которые было, в частности, указано *Б. В. Кукаркиным* [9] в 1954 г.

Все это заставляет искать новые и новые методы для вычисления нуль-пункта кривой период — светимость *Х. Шепли* 1930 г. При этом следует иметь в виду, что новая кривая, опубликованная тем же автором [10] в 1940 г., несколько отлична. Поправка ΔM_p по отношению к кривой 1930 г. составляет $-0^m.07$, $-0^m.13$ и $-0^m.06$ для $\lg P$, равного 0.2, 1.0 и 1.6 соответственно.

Более надежной по форме является кривая, полученная в 1949 г. *Б. В. Кукаркиным* [11] с нуль-пунктом $-0^m.5$ (*О. А. Мельников*, 1944). Она может быть записана в виде формул для медианных фотографических величин:

$$\begin{aligned} M_p &= -0.74 - 1.67 \lg P \quad (1 < P < 9), \\ M_p &= -0.35 - 2.08 \lg P \quad (P > 9). \end{aligned} \quad (1)$$

В настоящем исследовании мы изучаем только вопрос о нуль-пункте зависимости период — светимость, но не о ее форме. При этом, в отличие от предыдущих авторов, мы комбинируем данные наблюдений с данными пульсационной теории.

Исходными являются следующие обычные три уравнения:

$$\frac{L}{L_\odot} = \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^2 \left(\frac{T}{T_\odot} \right)^4, \quad (2)$$

$$\frac{g}{g_\odot} = \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_\odot} \left(\frac{R_\odot}{R} \right)^2, \quad (3)$$

$$P \sqrt{\frac{\rho}{\rho_\odot}} = Q. \quad (4)$$

Обозначения имеют обычный смысл, а периоды P всегда будут выражаться в днях.

Комбинация приведенных уравнений дает болометрическую светимость цефеиды относительно Солнца

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{g}{g_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{P}{Q}\right)^4 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4. \quad (5)$$

Иначе, в звездных величинах, болометрическая светимость будет

$$M_b = M_{b, \odot} - 5 \lg \frac{g}{g_{\odot}} - 10 \lg \frac{P}{Q} - 10 \lg \frac{T}{T_{\odot}}. \quad (6)$$

В гарвардской фотометрической системе, которая нас и интересует в данном случае, разность фотографической и болометрической звездных величин может быть записана [12] в виде *

$$\Delta M_{(p-b)} = M_p - M_b = 10 \lg T + \frac{36700}{T} + x_p - 43.18. \quad (7)$$

Для нашего случая цефеид с периодами $1^d.6 - 40^d.0$ (с температурами около $6000 - 4000^\circ \text{K}$ соответственно) значение $|x_p| < 0.01$ и, следовательно, x_p пренебрежимо мало.

Комбинация уравнений (6) и (7) дает

$$M_p = M_{b, \odot} - 5 \lg \frac{g}{g_{\odot}} - 10 \lg \frac{P}{Q} + 10 \lg T_{\odot} + \frac{36700}{T} - 43.18. \quad (8)$$

Мы приняли $T_{\odot} = 5780^\circ$ [12], $M_{pv, \odot} = M_{v, \odot} = +4^m.84$ [13] и $\Delta M_{b, \odot} = -BC_{\odot} = +0.07$ ** и, следовательно, $M_{b, \odot} = +4^m.77$. Окончательно имеем

$$M_p = -0.79 - 5 \lg \frac{g}{g_{\odot}} - 10 \lg \frac{P}{Q} + \frac{36700}{T}. \quad (9)$$

Эта формула и послужила для окончательных вычислений. Использование формул чернотельного излучения для $\Delta M_b = -BC$ и для CI не внушает серьезных опасений, так как сравнение делается с Солнцем, температура которого близка к температуре цефеид, и поэтому $\delta(\Delta M_b)$ не велика для не очень больших периодов. Для вычисления T и $\lg \frac{g}{g_{\odot}}$ мы берем данные из наблюдений, а Q из теории.

1. Определение T для цефеид. С этой целью мы использовали данные А. Д. Коде [14], сравнивавшего спектры цефеид со сверхгигантами класса светимости Ib для определения классов спектров.

Температурную шкалу сверхгигантов класса светимости Ib мы приняли по В. В. Моргану и П. К. Кинену [15].

*

$$CI = M_p - M_v = \frac{7200}{T} - 0.55,$$

$$\Delta M_b = M_v - M_b = 10 \lg T + \frac{29500}{T} - 42.63 + x_v.$$

** Предыдущая (в сноске) формула дает -0.08 .

Вычисление температур по медианным спектрам способом наименьших квадратов дало, вместе с вероятными ошибками,

$$T = 6090^\circ - 1180^\circ \lg P. \quad (10)$$

$$\pm 240 \quad \pm 240$$

На рис. 1 представлены наблюдения.

Решение в логарифмической шкале T дало $\lg T = 3.791 - 0.102 \lg P$, что близко к формуле (60) в работе П. П. Паренаго [16].

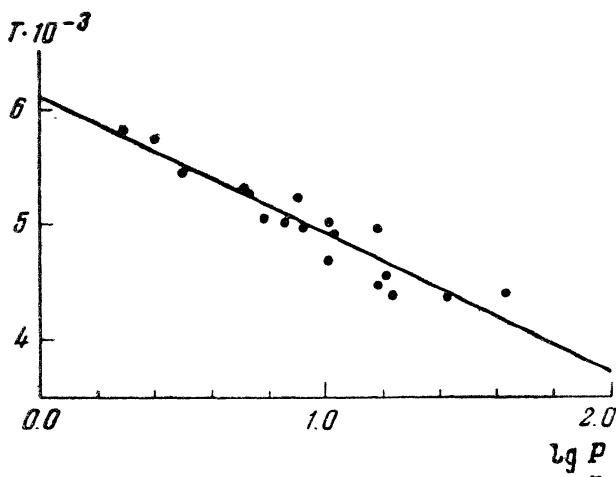


Рис. 1

2. Определение $\lg \frac{g}{g_\odot}$ для цефеид. Используя кривые лучевых скоростей цефеид, мы смогли получить для них нижнее граничное значение $\lg g_n$ или $\lg \frac{g_n}{g_\odot}$ [17]. При решении по табл. XIII (5-й столбец) цитированной работы получено:

$$\lg g_n = 2.679 - 1.330 \lg P \approx 2.68 - \frac{4}{3} \lg P. \quad (11)$$

Для определения нуля реальных (а не граничных) значений $\lg g$ цефеид мы воспользовались данными, полученными Г. Тиссенем [18] из орбитальных данных по цефеиде ВМ Кассиопеи с $\lg P = 1.43$, входящей в двойную систему со сверхгигантом типа сА5. Для этой цефеиды $M = 14.3 M_\odot$ и $R = 225.5 R_\odot$ и, следовательно, $\lg \frac{g}{g_\odot} = -3.55$. По формуле же (11) с $\lg g_\odot = 4.44$ для $\lg P = 1.43$ получим $\lg \frac{g}{g_\odot} = -3.66 = -3.55 - 0.11$. Учитывая поправку $+0.11$, мы вместо формулы (11) для истинного $\lg g$ получим

$$\lg g = 2.79 - \frac{4}{3} \lg P \quad (12)$$

или же истинное $\lg \frac{g}{g_\odot}$ будет

$$\lg \frac{g}{g_\odot} = -1.65 - \frac{4}{3} \lg P \approx -1.65 - 1.33 \lg P. \quad (13)$$

3. Определение Q для цефеид. В отличие от предыдущих данных T и g величина Q определяется из теории. *Д. Джинс* определяет ^[19] значение Q по теореме о вириале, т. е. приближенно ^[16]. В этом случае $Q = 0.037$. Вообще же Q зависит от модели пульсирующего газового шара: концентрации массы к центру, относительному обилию тяжелых и легких элементов и т. д.

И. Эйнштейн ^[20] для гигантской звезды с большей концентрацией массы к центру (что необходимо для получения высокой центральной температуры, ибо в противном случае соответствующие ядерные реакции не будут обеспечены) получил $Q = 0.031$. Он же приводит значение $Q = 0.0381$, полученное для стандартной модели. Однако в более поздней работе *Р. П. Крафт* ^[21] получил $Q = 0.0461$. *А. Б. Северный* ^[22] получил также из теории, что в случае ничтожной примеси тяжелых элементов $Q = 0.050$, но с ростом их обилия до заметного Q увеличивается до 0.087. *Н. А. Козырев* ^[23] на основании сравнения с наблюдениями считает, что значение $Q = 0.075$ согласуется с его теоретическими расчетами по соотношению масса — светимость гигантских звезд с небольшой концентрацией массы к центру. Отметим также, что для однородной ^[16] звезды $Q = 0.116$, однако подобная модель мало вероятна.

Из изложенного следует, что теоретическое значение Q заключено в вероятных пределах 0.03 — 0.10. Нам представляется, что $Q = 0.040$ наиболее вероятно. Именно на этом близком значении 0.045 и остановился в своем исследовании характеристик цефеид *П. П. Паренаго* ^[16].

Отметим, что из наблюдений значение Q определялось неоднократно. Например *В. Бекером* ^[24], *Ц. Пэйн-Гапошкиной* и *С. Гапошкиным* ^[25], *О. А. Мельниковым* ^[26], *Р. П. Крафтом* ^[21], *К. Феррари д'Оккиенпо* ^[27] и многими другими. Однако в данном случае авторы были неизбежно связаны с той или иной гипотезой о соотношении между светимостью и массой цефеид. Обычно брался закон для стационарных гигантских звезд. Но в данное время мы уже знаем о нарушениях этого закона в применении к цефеидам ^[3, 18].

Более существенными наблюдательными работами при исследовании закона

$P \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\odot}}} = Q = \text{const}$ являются те, в которых была обнаружена зависимость $P \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\odot}}}$ от класса спектра или от температуры. В данном случае мы имеем в виду работу *З. Копала* ^[28] и *Ю. Хеллериха* ^[29]. Последний показал, что

$$\lg P \sqrt{\frac{\rho}{\rho_{\odot}}} = a + b^2 \lg T. \tag{14}$$

В табл. 2 мы приводим некоторые вспомогательные численные данные вычисленные нами для цефеид.

Т а б л и ц а 2

$\lg P$	$T, ^\circ K$	$\lg \frac{g}{g_{\odot}}$	$\Delta M_{(p-b)}$	M_p ($Q=0.045$)	M_p^S	M_p ($Q=0.039$)
0.2	5854	-1.92	+0 ^m .76	-0 ^m .39	-0 ^m .61	-1 ^m .01
0.4	5618	2.18	0.85	0.82	0.93	1.44
0.6	5382	2.45	0.94	1.19	1.22	1.81
0.8	5146	2.71	1.07	1.54	1.53	2.19
1.0	4910	2.98	1.20	1.88	1.89	2.50
1.2	4674	3.25	1.37	2.15	2.26	2.77
1.4	4438	3.51	1.56	2.43	2.68	3.05
1.6	4202	-3.78	+1.79	-2.62	-3.19	-3.24

В табл. 2 последовательно в 4 — 6 столбцах даны: значение M_p , вычисленное по формуле (9) с $Q = 0.045$, значение M_p^s по кривой $X. Шепли$ 1930 г. и значение M_p , вычисленное с $Q = 0.039$, т. е. близким к стандартной модели.

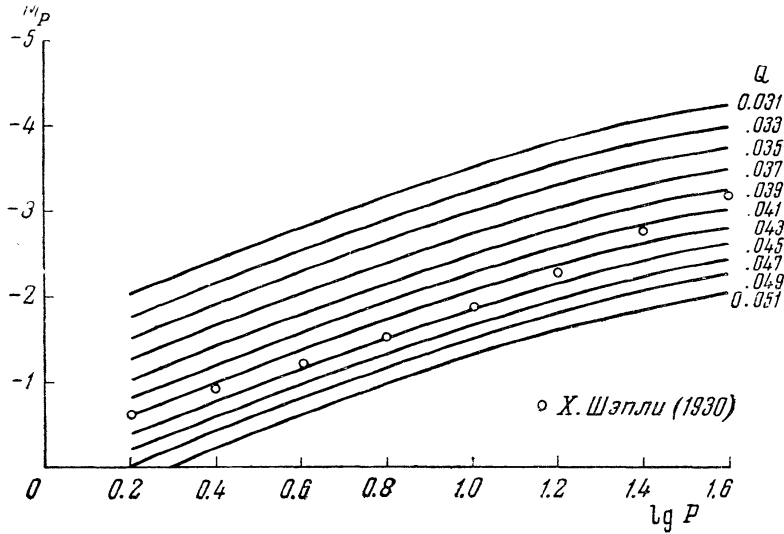


Рис. 2

Мы видим, что при $Q = 0.045$ поправка к нуль-пункту кривой период — светимость $X. Шепли$ близка к нулю, при $Q = 0.039$ она близка к $-0^m.5$. Вычисления были сделаны для ряда значений Q и показаны на рис. 2. Кружками нанесены координаты кривой $X. Шепли$. В общем, теоретические

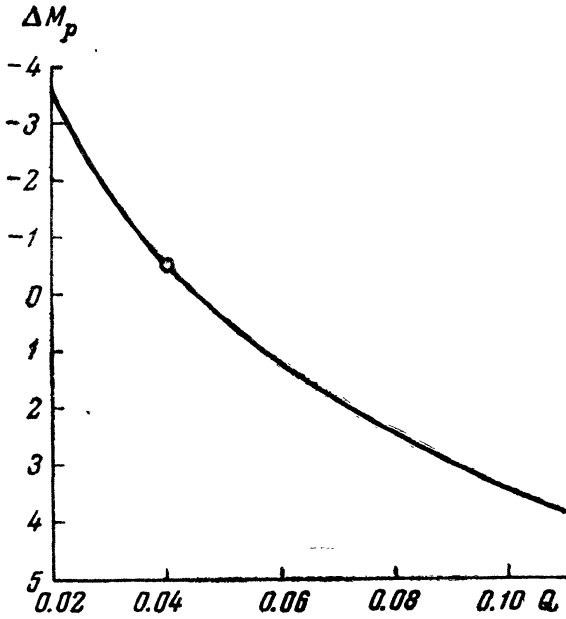


Таблица 3

Q	ΔM_p
0.02	$-3^m.52$
0.04	-0.51
0.06	$+1.25$
0.08	$+2.50$
0.10	$+3.47$

Рис. 3

кривые, вычисленные по формуле (9), согласуются с наблюдениями, расхождения у крайних значений $\lg P$, по-видимому, обусловлены небольшим изменением Q с температурой, на что уже указывают наблюдения [28, 29].

Согласно Ю. Хеллериху, в формуле (14) для цефеид с $P > 1^d$, т. е. для долгопериодических, $b^2 > 0$, и поэтому при вычислении M_p для долгопе-

риодических цефеид с более длинными периодами, например, $\lg P = 1.6$, надо брать несколько меньшие значения Q , чем для цефеид с более короткими периодами, например, $\lg P = 0.2$. Введение такой поправки качественно улучшает согласие наших расчетных кривых с кривой X . *Шепли* для определенного значения Q , например, в случае средней части кривой с $\lg P = 1.0$.

Пока что мы не в состоянии фиксировать значение Q и точную температурную зависимость $Q = f(T)$, но мы можем определить зависимость Q и поправку нуль-пункта ΔM_p к кривой X . *Шепли* 1930 г.

Например, это можно сделать по значениям M_p для $\lg P = 1.0$, т. е. по средней части.

Результаты приведены в табл. 3, а также на рис. 3 в виде кривой.

Значение поправки нуль-пункта кривой период — светимость X . *Шепли*, помеченное на рисунке кружком, соответствует $\Delta M = -0^m.5$, т. е. нуль-пункту кривой, выведенному автором еще в 1944 г. из совершенно других наблюдений, формул и методов, а также значению $Q = 0.041$, близкому к стандартной модели пульсирующего газового шара.

Подобное соответствие следует считать удовлетворительным.

Из табл. 3 мы видим, что в случае принятия $Q = 0.08$ и более, т. е. с переходом к более однородным пульсирующим газовым шарам, поправка ΔM_p становится положительной и слишком большой для того, чтобы ее можно было принять даже в качестве предварительной.

Литература

1. О. А. Мельников, Диссертация, МГУ, 1944.
2. О. А. Мельников, Абаст. Бюл., № 8, 57, 1945.
3. О. А. Мельников, Труды ГАО 64, 1950.
4. W. Baade, PASP 68, 1, 1956.
5. A. Opolski, J. Krawiecka, Contrib. Wroclaw Astron. Observ. Ser. R. N. 81, 1956.
6. Ю. П. Псковский, АЖ 34, 19, 1957.
7. W. Becker, ZsAp 44, 126, 1957.
8. M. L. Humasson, A. K. Sandage, N. U. Mayall, PASP 67, 115, 1955.
9. Б. В. Кукаркин, АЦ № 155, 12, 1954 и «Труды четвертого совещания по вопросам космогонии», стр. 300, М., 1954.
10. H. Shapley, Proc. Nat. Acad. Sci., Washington, 26, 541, 1940.
11. Б. В. Кукаркин, ПЗ 7, 73, 1949.
12. A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären. Berlin, 1955.
13. J. Stebbins, G. Kron, ApJ 126, 266, 1957.
14. A. D. Code, ApJ 106, 309, 1957.
15. W. W. Morgan, P. C. Keenan, Astrophysics, p. 20, 1951.
16. П. П. Паренаго, ПЗ 10, 193, 1955.
17. О. А. Мельников, Изв. ГАО 137, 47, 1948.
18. G. Thiessen, ZsAp 39, 65, 1956.
19. J. Jeans, Astronomy and Cosmogony, p. 384, 386, 1929.
20. I. Epstein, ApJ 112, 6, 1950.
21. K. P. Kraft, PASP 65, 146, 1953.
22. А. Б. Северный, Изв. КрАО I, ч. 2, 3, 1948; Изв. ГАО 137, 62, 1948 (примечание).
23. Н. А. Козырев, Изв. КрАО II, 3, 1948; VI, 54, 1951.
24. W. Becker, ZsAp 19, 297, 1940.
25. С. Payne-Gaposhkin, S. Gaposhkin, Proc. Ann. Philos. Soc. 86, 329, 1943.
26. О. А. Мельников, Изв. ГАО XVII, 3, 95, 1947; XVII, 2, 47, 1948.
27. K. Fiddodn d'Occhieppo, Anz. Österr. Akad. Wiss., Mat.-naturwiss. Kl. 90, 241, 1953; Mitt. Univ.-Sternwarte Wien 6, 243, 1953.
28. Z. Kopal, MN 99, 38, 1939.
29. J. Hellerich, AN 268, 218, 1939.
30. W. Zonn, Per. Astr. Obs. Warsaw Univ. N 63, 1957.

Главная астрономическая обсерватория
АН СССР

Пулково, май 1958 г.