

менее, последние результаты показывают, что при исследовании поглощения света следует учитывать вышеупомянутые факторы.

В заключение приношу благодарность А. Ф. Торонджадзе за участие в обсуждении результатов нашего исследования.

Август, 1957.

### ON THE ABSORPTION OF LIGHT IN THE DIRECTION TO THE CENTRE OF THE GALAXY

Т. А. КОЧЛАШВИЛИ

(Summary)

The data on the dependence of  $CE$  on  $r$  given in [1] have been corrected according to the investigations and formulae by A. Ph. Torondjадзе [2, 3, 4, 5, 6].

According to the curves of regression ( $m-M$ ,  $\overline{CE}$ ) and ( $\overline{m-M}$ ,  $CE$ ) and the formula (1) of the paper [5] the curve of orthogonal mean quadratic regression has been drawn (Fig. 1).

The latter represents the best approximation to the real dependence ( $CE$ ,  $m-M$ ). The real distances and the values of the coefficients of total and selective absorption have been determined. The dependences ( $r$ ,  $CE$ ) and ( $r$ ,  $\gamma \cdot CE$ ) and the theoretical curve ( $r$ ,  $\gamma \cdot CE$ ) drawn according to the (2)-law [5] of the absorbing matter density distribution are given.

August, 1957.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кочлашвили Т. А. Каталог фотовизуальных звездных величин и цветовых показателей звезд в направлении на галактический центр. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс. 1957, 22, 67–92.
2. Торонджадзе А. Ф. О влиянии дискретной структуры поглощающего слоя и случайных ошибок измерений при исследовании космического поглощения по цветовым избыткам звезд. Сообщ. АН Груз. ССР 1958, 20, № 2.
3. Торонджадзе А. Ф. Об учете влияния дискретной структуры поглощающего слоя и случайных ошибок измерений при исследовании космического поглощения по цветовым избыткам звезд. Сообщ. АН Груз. ССР 1958, 21, № 1.
4. Торонджадзе А. Ф. Исследование зависимости от избытка цвета множителя перевода избирательное поглощение в полное I. Астрон. Журн. 1958, 35, № 1.
5. Торонджадзе А. Ф. Исследование зависимости от избытка цвета множителя перевода избирательное поглощение в полное II. Астрон. Журн. 1958, 35, № 4.
6. Торонджадзе А. Ф. Исправленные значения величин поглощения в 43-х Площадках Каптейна. Сообщ. АН Груз. ССР 1959, 22, № 1.
7. Харадзе Е. К. Каталог показателей цвета 14000 звезд и исследование поглощения света в Галактике на основе цветовых избытков звезд. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс. 1952, 12.
8. Флоря Н. Ф. Исследование поглощения света в межзвездном пространстве. Труды Гос. Астрон. Инст. Штернберга, 1949, 16, 4–46.
9. Зонн В. О межзвездном селективном поглощении в пятнадцати выбранных Площадках Каптейна. Астрон. Журн. 1956, 33, 855–865.
10. Торонджадзе А. Ф. О законе распределения плотности поглощающего вещества перпендикулярно галактической плоскости. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс. 1959, 24.

БАБАСТУМСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ № 24, 1959  
БЮЛЛЕТЕНЬ АБАСТУМСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ № 24, 1959

### О ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ДВУМЯ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИН

Т. А. КОЧЛАШВИЛИ

В звездной фотометрии вопрос о зависимости между двумя системами звездных величин является весьма важным и необходимо относиться к нему с надлежащим вниманием.

Действительно, в практической работе, почти всегда требуется сравнение звездных величин одних и тех же звезд, полученных в разных фотометрических системах. А сравнение данной фотометрической системы с интернациональной имеет всеобщий характер. Для такого сравнения мы прибегаем или к аналитическому методу, который заключается в установлении так называемой редукционной формулы, или же к графическому методу. Последний заключается в том, что строится график зависимости между  $m$  и  $m_i$ , где  $m$  – звездные величины в данной системе, а  $m_i$  – те же в интернациональной или в какой-либо другой системе, с которой сравнивается  $m$ . Однако графический метод довольно груб и при точных определениях звездных величин неприменим.

Зависимость между двумя системами звездных величин в общем виде представляется формулой:

$$m_2^0 - m_1^0 = a + b m_1^0 + c \cdot CI_{1,3}^0. \quad (1)$$

В этой формуле  $m_1^0$  и  $m_2^0$  видимые, не искаженные межзвездным поглощением звездные величины в двух рассматриваемых системах.  $CI_{1,3}^0$  – так называемый нормальный цвет, т. е. тоже неискаженный межзвездным поглощением цвет звезды в системах  $(\lambda_1, \lambda_3)$ . Для ясности скажем, что  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  – эффективные длины волн, соответствующие  $m_1, m_2, m_3, m_4$  системам, причем  $CI_{1,3} = m_1 - m_3$ ,  $CI_{2,4} = m_2 - m_4$ .

Решая систему уравнений вида (1), допустим для приведения данной системы  $m_1$  к интернациональной системе  $m_2$ , на основе интернациональных стандартов, т. е. на основе звезд в  $NPS$ , где поглощение сравнительно незначительно, мы тем самым получаем редукционную формулу, пригодную только для таких областей, которые свободны от межзвездного поглощения. На самом же деле, мы применяем упомянутую редукционную формулу для редукции данной системы к интернациональной и для таких областей, в которых имеет место межзвездное поглощение, на что мы не имеем права. Вопрос об учете межзвездного поглощения при таких редукциях был рассмотрен еще много лет тому назад Глейсбергом [1], который указал на необходимость учета упомянутого эффекта.

Мы поставили перед собой задачу вывести такую формулу зависимости между двумя системами звездных величин, в которой будет учтен эффект межзвездного поглощения, причем, желательно чтобы в упомя-

нутой формуле фигурировали такие параметры, которые будут получены непосредственно из наблюдений. Таковыми, кроме видимых звездных величин, являются цветовые показатели или избытки цвета звезд. Кроме того, учтем также и эффект зависимости переводного множителя  $\gamma$  и бирадиального поглощения в общем от самого поглощения. Этот вопрос был обстоятельно разработан недавно А. Ф. Торонджадзе [2].

Введем те же обозначения, которые использованы в [2]:  $I_0(\lambda)$  — интенсивность источника излучения,  $\sigma(\lambda)$  — спектральная чувствительность использованной аппаратуры,  $W_0(\lambda) = I_0(\lambda)\sigma(\lambda)$  — действующий поток излучения,  $J_0 = \int W_0(\lambda) d\lambda$  — интегральная интенсивность действующего потока

$$-\int_{r_i}^r k(\lambda, r') \delta(r') dr'$$

(интеграция выполняется по всевозможным  $\lambda$ ),  $W(\lambda) = W_0(\lambda)e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda, r') \delta(r') dr'}$  — действующий поток излучения, если имеет место поглощение в межзвездной среде; здесь  $\delta(r)$  — плотность поглощающей среды в точке  $r$ , а  $k(\lambda, r)$  — коэффициент поглощения, который может быть функцией расстояния

$$\int_{r_i}^r k(\lambda, r') \delta(r') dr'$$

$J = \int W_0(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda, r') \delta(r') dr'} d\lambda$  — интегральный поток после прохождения лучом межзвездной поглощающей среды.

Ослабление интегрального потока вследствие поглощения, выраженное в звездных величинах будет:

$$\Delta m = -2.5 \log \frac{\int W_0(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda, r') \delta(r') dr'} d\lambda}{\int W_0(\lambda) d\lambda}. \quad (2)$$

В дальнейшем для упрощения вычислений мы будем брать натуральные логарифмы. С той же целью допускаем, что коэффициент поглощения не зависит от расстояния, т. е.  $k(\lambda, r) = k(\lambda)$ , а  $\delta(r)dr = ds$ . Тогда уравнение (2) для двух систем будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \Delta m_1 &= -1.086 \ln \frac{\int W'_0(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda) ds} d\lambda}{\int W'_0(\lambda) d\lambda}, \\ \Delta m_2 &= -1.086 \ln \frac{\int W''_0(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda) ds} d\lambda}{\int W''_0(\lambda) d\lambda}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для упрощения введем нормированные к единице функции:

$$f_1(\lambda) = \frac{W'_0(\lambda)}{\int W'_0(\lambda) d\lambda}, \quad f_2(\lambda) = \frac{W''_0(\lambda)}{\int W''_0(\lambda) d\lambda}.$$

Тогда (3) можно написать так:

$$\Delta m_1 = -1.086 \ln \int f_1(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda) ds} d\lambda, \quad (4)$$

$$\Delta m_2 = -1.086 \ln \int f_2(\lambda) e^{-\int_{r_i}^r k(\lambda) ds} d\lambda.$$

Напишем зависимость между  $m$  и  $M$  для рассматриваемых нами двух систем:

$$\begin{aligned} m_1 - M_1 &= 5 \lg r - 5 + \Delta m_1, \\ m_2 - M_2 &= 5 \lg r - 5 + \Delta m_2. \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta m_1$  и  $\Delta m_2$  — общие поглощения в тех же системах. Ставим необходимым условием, что расстояние какой-либо звезды, определенное в обеих фотометрических системах одно и тоже. Вычитывая из (5) первое из второго, получим,

$$m_2 - m_1 = M_2 - M_1 + \Delta m_2 - \Delta m_1,$$

но  $M_2 - M_1 = m_2^\circ - m_1^\circ$

тогда  $m_2 - m_1 = m_2^\circ - m_1^\circ + \Delta m_2 - \Delta m_1$  и согласно (1) будем иметь:

$$m_2 - m_1 = a + b m_1^\circ + c \cdot CI_{1,3} + \Delta m_2 - \Delta m_1$$

и так как  $m_1^\circ = m_1 - \Delta m_1$  последнее примет вид:

$$m_2 - m_1 = a + b m_1 - (1 + b) \Delta m_1 + \Delta m_2 + c \cdot CI_{1,3}, \quad (6)$$

где

$$CI_{1,3} = m_1^\circ - m_2^\circ = m_1 - \Delta m_1 - m_2 + \Delta m_2.$$

Уравнение (6) представляет зависимость между двумя фотометрическими системами звездных величин с учетом межзвездного поглощения света.

Так как  $\Delta m_2$  неизвестная нам величина, представим ее через  $\Delta m_1$ . Разложим  $\Delta m_2$  в ряд Тейлора по  $\Delta m_1$ , около  $\Delta m_1 = 0$ :

$$\Delta m_2 = \Delta m_2 \Big|_{\Delta m_1=0} + \frac{d \Delta m_2}{d \Delta m_1} \Big|_{\Delta m_1=0} \Delta m_1 + \frac{1}{2} \frac{d^2 \Delta m_2}{d \Delta m_1^2} \Big|_{\Delta m_1=0} \Delta m_1^2 + \dots \quad (7)$$

вычисляя коэффициенты  $\frac{d \Delta m_2}{d \Delta m_1}$  и  $\frac{d^2 \Delta m_2}{d \Delta m_1^2}$  определяем через  $s = \frac{d \Delta m_2}{d \Delta m_1}$

$$= \frac{d \Delta m_2}{ds} \cdot \frac{ds}{d \Delta m_1} \text{ также как и } \frac{d^2 \Delta m_2}{d \Delta m_1^2}, \quad \text{дифференцированием выражения (4)}$$

и переходя к пределам при  $\Delta m_1 \rightarrow 0$  т. е.  $s \rightarrow 0$ , получаем:

$$\left. \begin{aligned} \lim_{s \rightarrow 0} \frac{d \Delta m_2}{d \Delta m_1} &= \alpha, \\ \lim_{s \rightarrow 0} \frac{d^2 \Delta m_2}{d \Delta m_1^2} &= \frac{\alpha}{1.086} [\tilde{\delta}_{k1} - \alpha \tilde{\delta}_{k2}], \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где введены обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{\tilde{k}_2(\lambda)}{\tilde{k}_1(\lambda)}, \quad \tilde{\delta}_{k1} = \frac{\sigma_{k1}^2}{\tilde{k}_1}, \quad \tilde{\delta}_{k2} = \frac{\sigma_{k2}^2}{\tilde{k}_2}, \\ \sigma_{k1}^2 &= [\tilde{k}_1(\lambda) - k_1(\lambda)]^2, \quad \sigma_{k2}^2 = [\tilde{k}_2(\lambda) - k_2(\lambda)]^2. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$\sigma_{k_1}^2$  и  $\sigma_{k_2}^2$  есть дисперсии средних значений коэффициентов поглощения  $\overline{k_1(\lambda)}$  и  $\overline{k_2(\lambda)}$ , в рассматриваемых системах, которые выражены так:

$$\overline{k_1(\lambda)} = \int f_1(\lambda) \cdot k_1(\lambda) d\lambda$$

$$\overline{k_2(\lambda)} = \int f_2(\lambda) \cdot k_2(\lambda) d\lambda$$

$$\frac{d\Delta m_2}{d\Delta m_1} \text{ и } \frac{d^2\Delta m_2}{d\Delta m_1^2}$$

Подставляя значения  $\frac{d\Delta m_2}{d\Delta m_1}$  и  $\frac{d^2\Delta m_2}{d\Delta m_1^2}$  из (8) в (7) (удовлетворимся членами второго порядка  $\Delta m_1$ ), а затем значение  $\Delta m_2$  из уравнения (7) – (6), получим:

$$m_2 - m_1 = a + b m_1 + (\alpha - b - 1) \Delta m_1 + \frac{\alpha}{1.086} [\delta_{k_1}^2 - \alpha \delta_{k_2}^2] \Delta m_1^2 + e \cdot CI_{1,3}^0. \quad (10)$$

Заменим величины общего поглощения  $\Delta m_1$  избирательным поглощением  $CE_{1,3}$ :

$$\Delta m_1 = \gamma_{1,3} \cdot CE_{1,3}. \quad (11)$$

Так как  $\gamma$  является функцией самого  $CE$ , разложим его тоже в ряд Тейлора. Воспользуемся уже готовым выражением разложения  $\gamma$  из [2] произведя некоторые элементарные преобразования, для  $\gamma_{1,3}$  получим:

$$\begin{aligned} \gamma_{1,3} &= \frac{1}{1-\beta} + \frac{1}{2} \frac{1}{1.09(1-\beta)^3} [\xi - \delta_{k_1}^2] \cdot CE_{1,3} + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\xi}{(1.09)^2 \cdot (1-\beta)^3} [\xi - \delta_{k_1}^2] \cdot CE_{1,3}^2, \end{aligned} \quad (12)$$

где введены обозначения:

$$\beta = \frac{k_3(\lambda)}{k_1(\lambda)}, \quad \xi = \frac{\delta_{k_1}^2 - \beta \delta_{k_3}^2}{1-\beta}, \quad \delta_{k_3}^2 = \frac{\sigma_{k_3}^2}{k_3(\lambda)^2}, \quad \sigma_{k_3}^2 = [\overline{k_3(\lambda)} - \overline{k_3(\lambda)}]^2. \quad (13)$$

Подставляя  $\gamma_{1,3}$  из (12) в (11), а затем последний в уравнение (10), и ограничиваясь членами второго порядка  $CE$ , получим:

$$\begin{aligned} m_2 - m_1 &= a + b m_1 + \frac{\alpha - b - 1}{1-\beta} \cdot CE_{1,3} + \\ &+ \frac{1}{2} \frac{1}{1.09(1-\beta)} \left[ \frac{\alpha - b - 1}{1-\beta} (\xi - \delta_{k_1}^2) + \alpha \frac{\delta_{k_1}^2 - \alpha \delta_{k_3}^2}{1-\beta} \right] CE_{1,3}^2 + e \cdot CI_{1,3}^0. \end{aligned} \quad (14)$$

Введем обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha - b - 1}{1-\beta} &= c, \\ \frac{1}{2} \frac{1}{1.09(1-\beta)} \left[ \frac{\alpha - b - 1}{1-\beta} (\xi - \delta_{k_1}^2) + \alpha \frac{\delta_{k_1}^2 - \alpha \delta_{k_3}^2}{1-\beta} \right] &= d. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для (14) получим:

$$m_2 - m_1 = a + b m_1 + c \cdot CE_{1,3} + d \cdot CE_{1,3}^2 + e \cdot CI_{1,3}^0. \quad (16)$$

Можно заменить избытки цвета цветовыми показателями  $CE = CI - CI^0$  тогда окончательный вид редукционной формулы будет:

$$\begin{aligned} m_2 - m_1 &= a + b m_1 + c \cdot CI_{1,3} + d \cdot CI_{1,3}^2 - 2d \cdot CI_{1,3} \cdot CI_{1,3}^0 + d \cdot (CI_{1,3})^2 + \\ &+ l \cdot CI_{1,3}^0, \end{aligned} \quad (17)$$

где  $l = e - c$ .

Таким образом, для приведения одной системы звездных величин к другой, надо пользоваться уравнением (17) или (16), а не (1). Коэффициенты  $a, b, c, d$  и  $e$  следует определять по таким стандартным звездам, которые будут искажены межзвездным поглощением.

Рассмотрим несколько частных случаев.

1. Допустим, что поглощение очень мало, т. е.  $CE \rightarrow 0$ , тогда в уравнении (16) члены с  $CE$  исчезнут и останется уравнение (1).

2. Допустим, что рассматриваемые звезды принадлежат к одним и тем же спектральным классам, т. е.  $CI^0 = a = Const$ , тогда в уравнениях (16) и (17) вместо коэффициентов  $a$  и  $c$  будем иметь:

$$\begin{aligned} a_1 &= a + d \cdot (CI)^2 + l \cdot CI, \\ c_1 &= c - 2d \cdot CI. \end{aligned}$$

3. Допустим, что системы  $m_1$  и  $m_2$  очень близки друг к другу, т. е.  $m_2 \rightarrow m_1$ , тогда в уравнениях (16) и (17) коэффициенты  $a, b, c, d$  и  $e$  должны быть близки к нулю.

4. Наконец, допустим, что использованные фильтры являются монохроматорами, тогда вместо средних значений коэффициентов поглощения  $\overline{k_1(\lambda)}$ ,  $\overline{k_2(\lambda)}$  и  $\overline{k_3(\lambda)}$  будем иметь непосредственно их значения  $k_1(\lambda)$ ,  $k_2(\lambda)$  и  $k_3(\lambda)$ . Дисперсии  $\sigma_{k_1}^2$ ,  $\sigma_{k_2}^2$  и  $\sigma_{k_3}^2$  и, значит,  $\delta_{k_1}^2$ ,  $\delta_{k_2}^2$  и  $\delta_{k_3}^2$  превратятся в нуль и, следовательно, согласно (15) коэффициент  $d$  тоже будет равен нулю, тогда для  $m_2 - m_1$ , получим:

$$m_2 - m_1 = a + b m_1 + c \cdot CI_{1,3} + l \cdot CI_{1,3}^0,$$

т. е. член второго порядка  $CE$  отпадает. Переводный множитель  $\gamma$  в рассматриваемом случае, как это показал А. Ф. Торонджадзе [2], является постоянной величиной для данной системы.

Таким образом, из вышесказанного заключаем, что 1) при редукции какой-либо системы к другой, если имеет место межзвездное поглощение надо пользоваться не уравнением (1) а либо (16), либо (17); 2) вопрос об ограниченности порядков  $CE$  в уравнениях (16) и (17) зависит от самого значения  $CE$  и от разницы рассматриваемых фотометрических систем. Чем больше значение  $CE$  и чем больше разница между  $m_1$  и  $m_2$ , тем высшего порядка члены надо брать. Однако, заметим, что для имеющихся в настоящем времени данных относительно  $CE$  и разницы систем, будет вполне достаточно ограничиваться членами первого порядка  $CE$ , но редукционную формулу надо получить на основе тех стандартных звезд, которые будут искажены межзвездным поглощением.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность А. Ф. Торонджадзе, за ценные советы при выполнении настоящей работы.

Сентябрь, 1958.

## ON THE DEPENDENCE BETWEEN TWO PHOTOMETRIC SYSTEMS OF STAR MAGNITUDES

Т. А. КОЧЛАШВИЛИ

(Summary)

The necessity to take into account the effect of the interstellar absorption when we reduce one photometric system to the other is shown.

The reduction formulae (17) or (16) have been derived, which take into account the effect of the interstellar absorption and one of the dependence between the colour excess and the factor  $\gamma$ —transferring selective absorption into the total one on the CE itself.

Some particular cases are investigated.

To determine the magnitudes—as standards—for the stars situated in regions considerably obscured with interstellar absorption is recommended.

September, 1958.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gleissberg W. Farbenexzesse und interstellare Streuung des Sternlichtes. *Astron. Nachr.* 248, 317—323, 1933.
2. Торонджадзе А. Ф. Исследование зависимости от избытка цвета множителя, переводящего избирательное поглощение в полное. I. Астрон. Журн. 1958. 35, 71—81.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О ЦВЕТОВЫХ ИЗБЫТКАХ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ ЦЕФЕИД

А. Ф. ТОРОНДЖАДЗЕ, А. Ш. ХАТИСОВ

В работах [1, 2] было показано, что основные параметры, характеризующие межзвездное поглощение ( $a$ —коэффициент общего межзвездного поглощения,  $\Delta a$ —коэффициент избирательного поглощения,  $\gamma$ —множитель, переводящий избирательное поглощение в полное) являются переменными величинами, зависящими от величины поглощения. В этих же работах выведены соответствующие формулы, применением которых были обработаны данные о цветовых избытках звезд в Площадках Каптейна и установлен характер переменности указанных выше коэффициентов путем численного определения значений параметров в зависимости от избытка цвета. В работе [3] разработан корректный способ определения неизвестных параметров в функциональной зависимости между двумя случайными величинами, на основе применения которого и выполнена обработка данных в Площадках Каптейна. В работе [2] было указано, что при определении некоторых постоянных, входящих в основные формулы, возникает неуверенность, связанная с тем обстоятельством, что использованный материал о цветовых показателях не содержит звезд с достаточно большими избытками цвета. Совершенно очевидна целесообразность использования материала, содержащего звезды с возможно большими избытками цвета. Таким материалом могут служить данные о показателях цвета долгопериодических цефеид. Соответственно этому соображению мы решили подвергнуть подробному анализу данные о цветовых избытках долгопериодических цефеид, приведенные в работе М. А. Ванакидзе [4].

Ввиду сложности учета различия фотометрических систем, в условиях переменности основных параметров, данных других авторов мы не привлекаем. Подобный анализ, с одной стороны, предоставляет возможность проверки выводов работ [1, 2] о переменности указанных выше коэффициентов и, с другой стороны, может уточнить значения величин поглощения в направлениях использованных цефеид и значения расстояний до этих звезд. Следует иметь в виду также то обстоятельство, что способ решения задачи, описанный в работе [3], с большей уверенностью применим для обработки данных о долгопериодических цефеидах, разбросанных по всей галактической полосе, так как в этом случае ослабляется влияние корреляции между значениями поглощения в направлениях различных звезд.

Выведем формулу, на основе которой определяются нужные нам параметры. Предполагаем, что поглащающее вещество в плоскости Галак-