

Л. В. Мирзоян

О К-эффекте О-В0 звезд

С момента обнаружения Фростом и Адамсом [1] К-эффекта в лучевых скоростях О—В звезд прошло более пятидесяти лет. Этому явлению посвящены многочисленные исследования, однако в настоящее время проблема К-эффекта остается актуальной, так как еще не получила своего однозначного решения. Здесь имеется в виду не столько отсутствие общепринятой интерпретации этого явления, несмотря на отдельные удачные попытки [2], сколько, прежде всего, отсутствие единого мнения о реальном существовании К-эффекта в лучевых скоростях О—В звезд.

В ряде работ было показано [3—6], что в лучевых скоростях ярких О—В звезд (ярче 6-й величины) имеется положительный К-член порядка 4 км/сек. Что касается более слабых звезд тех же спектральных классов, то в лучевых скоростях последних К-член, согласно этим работам, совершенно отсутствует.

С другой стороны, в последние годы появились работы [7—9], в которых для К-эффекта получены отрицательные значения и на этом основании реальность существования К-эффекта, как особенности, присущей О—В звездам ставится под сомнение [9].

Настоящее исследование ставит своей целью анализ лучевых скоростей О—В0 звезд по общеизвестным формулам галактического вращения на основе наиболее точных современных данных. В конце работы в общих чертах рассмотрена одна возможность интерпретации полученных результатов.

В основе работы лежат лучевые скорости 330 звезд до 10-й величины в спектральной области О—В0.5 из „Общего каталога“ Р. Вилсона [10]. Для подавляющего большинства (более 80%) из них имеются электрофотометрические определения избытков цвета [11—14].

В эту совокупность не вошли звезды с галактическими широтами превышающими 25° по обе стороны от галактической плоскости. Из рассмотрения исключены также звезды с лучевыми скоростями, превышающими по абсолютной величине 50 км/сек, после исправления за стандартную скорость Солнца $V_\odot = 20$ км/сек.

В таблице 1 представлено распределение вошедших в наш список звезд по спектральным подклассам. Спектры заимствованы из работы [14]. В редких случаях, когда не имелись определения спектров по классификации МК, использованы данные, приведенные в каталоге Вилсона.

Таблица 1

Распределение звезд по спектральным классам

Спектр	O5	O6	O7	O8	O9	O9.5	I 0	B0.5
Число звезд	11	21	18	35	38	14	124	69

Все звезды этого списка были разделены на три группы по видимым величинам:

$$m < 6.0; \quad 6.0 < m < 8.0; \quad 8.0 < m < 10.0.$$

Для каждой из этих групп способом наименьших квадратов решались системы уравнений вида:

$$V_r = -V_{\odot} \cos \lambda + A \bar{r} \sin 2(l-l_0) \cos^2 b + K \quad (1)$$

для определения неизвестных $V_{\odot}$, $A \cdot \bar{r}$ и K . В левой части уравнений (1) V_r — наблюдаемая лучевая скорость звезды, а в правой части представлены составляющие этой скорости: проекция пространственной скорости Солнца на луч зрения к звезде, член обусловленный галактическим вращением (A — постоянная Оорта, $\bar{r}$ — среднее расстояние группы) и K — член.

Для апекса Солнца использованы стандартные значения координат: $A = 270^\circ$, $D = 30^\circ$, для долготы центра Галактики $l = 325^\circ$, а галактические координаты звезд вычислены по таблицам Ольсона. Значения $\cos \lambda$, где λ — угловое расстояние звезды, от апекса, определены с помощью номограммы, составленной по аналогии с номограммой, предложенной А. Дюфтоном [15] с большим увеличением.

Результаты решений для указанных трех групп, относящиеся к К-эффекту сведены в четвертом столбце таблицы 2. Здесь и дальше мы займемся только этими данными, оставляя вне рассмотрения в настоящей статье результаты, касающиеся скорости Солнца относительно центроидов звезд каждой группы и Оортовской постоянной A галактического вращения.

Во втором и третьем столбцах приведенной таблицы даны, соответственно число звезд в группах и среднее расстояние групп.

Расстояния звезд вычислены по абсолютным величинам и избыткам цвета в системе Стеббинса и Уитфорда. Используются данные работ: для абсолютных величин [16, 17], а для избытков цвета [11–14]. В немногих случаях избытки цвета вычислены интерполированием данных для соседних звезд. Во всех случаях учтены поправки за нормальные показатели цвета.

* Здесь и в остальных таблицах, приведены вероятные ошибки.

Таблица 2

Решения для групп по видимым величинам*

Группа	n	$\bar{r}$ (кпс)	K (км/сек.)
$m < 6.0$	64	0.85	-2.34 ± 1.2
$6.0 < m < 8.0$	126	1.51	-2.62 ± 1.1
$8.0 < m < 10.0$	140	2.24	-6.95 ± 1.2

На основе данных таблицы 2 можно констатировать весьма существенный факт: К-член для всех рассматриваемых групп отрицательный, при этом намечается определенный ход величины К-эффекта со средним расстоянием.

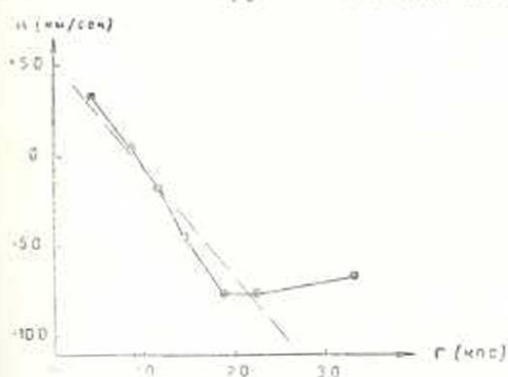
Существование зависимости между величиной К-эффекта и средним расстоянием рассматриваемой группы звезд заслуживает внимания. Поэтому, прежде, чем заняться изучением этой зависимости, мы сочли необходимым проверить реальность наличия такой зависимости.

С этой целью все звезды нашего списка были разделены на семь групп, в этот раз уже по известным фотометрическим расстояниям. Пределы расстояний для отдельных групп были выбраны таким образом, чтобы иметь примерно равномерное распределение звезд по группам.

Решения систем уравнений вида (1) для новых групп привели к результатам, представленным в таблице 3. Обозначения здесь прежние.

Новые решения полностью подтверждают реальность существования зависимости между величиной К-эффекта и средним расстоянием рассматриваемых групп звезд. Обращает на себя внимание положительный знак К-члена для ближайших двух групп. Ход изменения величины К-эффекта со средним расстоянием прежний: она непрерывно убывает, возрастая по абсолютной

величине в области отрицательных значений. Следует отметить, что для ближайшей группы величина К-эффекта близка к результатам



Фиг. 1. Зависимость величины К-эффекта от среднего расстояния рассматриваемых групп, по данным настоящей работы (табл. 3).

от среднего расстояния по данным таблицы 3 графически представлена на фиг. 1. Из этого графика следует, что с достаточным осно-

Таблица 3

Решения для групп по фотометрическим расстояниям

Группа (r в кпс)	n	r (кпс)	K (км/сек)
0-600	33	0.41	+3.69 ± 1.3
600-1000	47	0.83	+0.47 ± 1.3
1000-1300	42	1.15	-1.63 ± 2.1
1300-1600	53	1.44	-4.12 ± 1.8
1600-2000	56	1.88	-7.41 ± 1.8
2000-2500	46	2.25	-7.45 ± 1.9
>2500	53	3.34	-6.58 ± 2.3

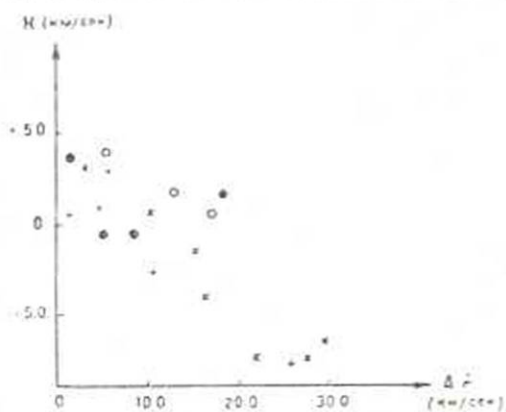
классических работ (см. например [6]), которые были получены для наиболее ярких звезд. Весьма интересно, что в отличие от распространенного до сих пор представления о наличии разрыва между значениями К-эффекта, соответствующими ярким и слабым О-В звездам, К-член оказывается непрерывно изменяющимся с расстоянием.

Для наглядности зависимости величины К-эффекта

ванием эту зависимость можно считать, в первом приближении, линейной. Наблюдаемое отклонение точки, соответствующей наиболее удаленной группе от линейной зависимости, возможно, обусловлено незаконностью применения формулы (1) для больших расстояний от Солнца. Для этой, также как и для двух предыдущих по расстояниям групп следует учесть члены галактического вращения высших порядков. Однако мы этим не будем заниматься, так как учет членов высших порядков не может существенным образом повлиять на полученную зависимость $(K, \bar{r})$.

Наличие линейной зависимости между K -членом и средним расстоянием для O — V звезд, по всей вероятности, обусловлено определенными физическими, возможно и динамическими особенностями этих звезд. Может оказаться, что она является следствием совокупного действия ряда физических и динамических факторов, свойственных этим звездам.

Небезинтересно здесь добавить, что существование зависимости $(K, \bar{r})$ подтверждается данными других авторов, не обративших внимание, на это весьма важное обстоятельство. Сказанное иллюстрируется графиком зависимости



Фиг. 2. Зависимость величины K -эффекта от произведения $A \cdot \bar{r}$, по данным: $\circ \circ \circ$ Пласкета и Пирса [4], $\bullet \bullet \bullet$ Али [7], $+++$ Пishмиш и Прието [8] и $\times \times \times$ настоящей работы.

величины K -эффекта от произведения $A \cdot \bar{r}$ по данным работ [4, 7, 8] и нашей (фиг. 2). Поскольку в указанных работах отсутствуют точные определения расстояний, то мы сочли возможным рассмотреть вместо зависимости $(K, \bar{r})$, зависимость $(K, A \cdot \bar{r})$, так как произведение $A \cdot \bar{r}$ непосредственно получается из решений уравнений вида (1). Замена среднего расстояния через это произведение не может заметно менять характер зависимости.

Фиг. 2 показывает, что реальность обнаруженной зависимости K -эффекта от среднего расстояния рассматриваемой группы звезд не может вызвать никаких сомнений. Следует указать также, что аналогичная зависимость, как показывают данные О. А. Мельникова [18], наблюдается и для долгопериодических цефеид. Однако эта зависимость для долгопериодических цефеид отличается от зависимости для O — V звезд как нулевым, так и угловым коэффициентом зависимости.

Для объяснения полученной зависимости между величиной K -эффекта и средним расстоянием значительный интерес представляет

приведенный на фиг. 3 график. Он весьма наглядно показывает, что существует аналогичная зависимость между К-эффектом и средней абсолютной величиной Θ —В0 звезд. Это свидетельствует о том, что полученная выше зависимость К-эффекта от среднего расстояния звезд является, на самом деле, следствием этой зависимости, благодаря тому, хорошо известному факту, что доля звезд высокой светимости растет среди всех наблюдаемых звезд до данной видимой яркости с возрастанием видимой величины, иначе говоря с возрастанием среднего расстояния.

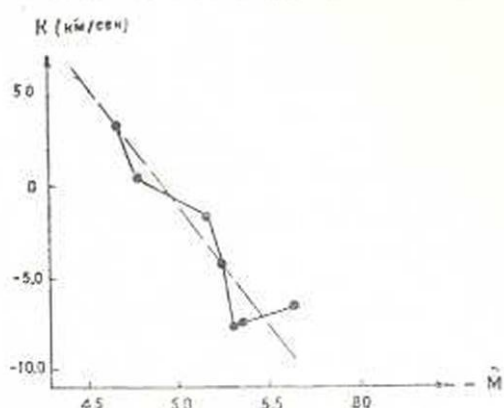
Таким образом фиг. 3 наглядно иллюстрирует исключительно важный факт: *Величина К-эффекта является определенной убывающей функцией от средней светимости звезд рассматриваемых групп.* Она регулярно убывает, возрастая, по абсолютной величине, в области отрицательных значений.

Поскольку у звезд высокой светимости вполне вероятно истечение материи с их поверхностей, то полученная зависимость, с этой точки зрения, свидетельствует о том, что скорость истечения растет вместе со светимостью.

Если это действительно так, что вполне допустимо, то К-эффекту в лучевых скоростях О—В0 звезд можно дать следующее объяснение.

Наблюдаемый эффект, по-видимому, состоит из двух компонентов. Первый из этих компонентов во всех случаях, положительный и по величине, в среднем, почти одинаков для всех О—В0 звезд (по-видимому, порядка 10 км/сек). Второй компонент отрицательный и по абсолютной величине растет со светимостью. Этот компонент может быть рассмотрен как результат истечения материи с поверхностных слоев О—В0 звезд. Что касается вопроса о природе первого, положительного компонента К-эффекта, то для его объяснения можно привлечь ряд известных в настоящее время явлений (Эйнштейновское красное смещение, расширение звездных ассоциаций, состоящих из горячих гигантов и т. д.).

В свете такой интерпретации К-эффекта, полученным выше (табл. 3) результатам, можно дать следующее возможное объяснение. Для ближайших групп звезд, содержащих, в среднем, звезды сравнительно низкой светимости, положительный компонент К-эффекта по своей абсолютной величине превышает второй и следовательно К-эффект в целом должен быть положительным. По мере возрастания



Фиг. 3. Зависимость величины К-эффекта от средней абсолютной величины для групп, представленных в табл. 3.

среднего расстояния, в среднем, растет и светимость звезд в группах и постепенно картина меняется*. И это приводит к тому, что для сравнительно далеких групп К-эффект становится, в целом отрицательным. Для совокупности всех О—В0 звезд второй компонент К-эффекта, поэтому должен превышать над первым, положительным, то есть в самом общем случае, когда все О—В0 звезды рассматриваются вместе, К-эффект должен быть отрицательным.

Этот вывод подтверждается таблицей 4, где даны результаты общих решений для всех звезд нашего списка с расстояниями до

Таблица 4

Общие решения

Группа	n	$\bar{r}$ (кпс)	K (км/сек)
$r < 2500$ пс	277	1.40	-3.50 ± 0.7
Все звезды	330	1.71	-3.45 ± 0.7

2.5 кпс (первая строка) и всех звезд независимо от расстояния (вторая строка).

Следовательно, приведенные в этой таблице данные, относящиеся к К-эффекту могут рассматриваться как говорящие в

пользу представления об истечении материи с поверхностных слоев О—В0 звезд.

Здесь следует упомянуть о работе Г. А. Шайна [19], где впервые отрицательный К-эффект, полученный для звезд-сверхгигантов типов В5—А3 ($K \approx -6$ км/сек) интерпретируется как результат истечения материи из атмосфер этих звезд.

Поскольку, согласно полученной выше зависимости между величиной К-эффекта и светимостью (фиг. 3), отрицательный К-эффект, по абсолютной величине растет вместе со светимостью, то максимальный эффект следует ожидать у звезд наиболее высокой светимости. Для дополнительной проверки указанной зависимости мы выделили в отдельную группу все звезды нашего списка с расстояниями до 2.0 кпс и абсолютными величинами не ниже $-5^m.5^{**}$. Общее число таких звезд*** оказалось равным 31, а средняя абсолютная величина $-6^m.26$. К-эффект для этой группы получен равным -8.61 км/сек, т. е. максимальным, как и следовало ожидать. Таким образом эта проверка подтверждает основной вывод настоящей работы о существовании отрицательного компонента в К-эффекте О—В0 звезд, возрастающего, по абсолютной величине, со светимостью звезд.

Отметим также, что из изложенного становится понятным расхождение между результатами работ [3—6] и [7—9], относящимися к величине К-эффекта у О—В звезд. В первых из них рассматривались сравнительно близкие звезды, и поэтому полученный в этих работах

* Как видно из графика (фиг. 3) К-эффект равен нулю при $\bar{M} \approx -1.9$. В этом случае положительный и отрицательный компоненты К-эффекта, по абсолютной величине равны.

** Классе светимости не ниже II.

*** Исключены три звезды, сомнительные, в смысле принадлежности к потоку Скорпиона—Центавра [20, 21].

К-эффект или положительный (наиболее яркие звезды), или близок к нулю. В последних работах, наоборот, пределы расстояний заметно расширены, что привело к изменению знака К-эффекта.

Необходимо здесь добавить, что в наш список вошли только две три звезды, принадлежащие потоку Скорпиона—Центавра [20, 21], причем это обстоятельство совершенно не сказалось на полученных решениях. Поэтому возможность объяснения положительного К-эффекта для ближайшей группы (табл. 3) движением этого потока полностью исключается.

В заключение следует отметить, что полученные выше результаты носят предварительный характер, в том смысле, что рассматриваемые лучевые скорости не исправлены за возможные ошибки, вводимые использованием лабораторных длин волн при их определении [22]. Что касается приведенного выше объяснения полученных в настоящей работе результатов, то оно весьма предварительное и схематичное. Автор надеется вернуться к затронутым выше вопросам позже.

Бюраканская астрофизическая обсерватория
АИ Армянской ССР

Получено 12 VIII 1958

Լ. Վ. Միրզոյան

О—В0 ԱՍՏՂԵՐԻ Կ-ԷՖԵԿՏԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

О—В0 աստղերի տեսողմանին արագությունների վերլուծությունից ստացված է Կ-էֆեկտի մեծությունը այդ աստղերի Արեգակից տարբեր հեռավորությունների վրա գտնվող խմբերի համար (աղյուսակ 3): Ստացված արդյունքները հանդիսանում են այն կարևոր եզրակացությանը, որ Կ-էֆեկտի մեծությունը անընդհատ նվազող ֆունկցիա է քննարկված խմբերի միջին հեռավորությունից (գծ. 1): Այնուհետև ցույց է տրվում, որ իրականում զոյություն ունի խորը ֆիզիկական իմաստ ունեցող համանման անընդուն Կ-էֆեկտի մեծության և հիշյալ խմբերի աստղերի միջին լուսատվության միջև (գծ. 3) և որ վերջինիս ուղղակի հետևանքն է Կ-էֆեկտի մեծության և միջին հեռավորության միջև ստացված կախումը:

Աշխատության մեջ արվում է նաև ստացված նոր արդյունքների մի հնարավոր բացատրություն:

Հիմնավորված է այն հիմնական եզրակացությունը, որ О—В0 աստղերի մոտ Կ-էֆեկտն իր մեջ պարունակում է մի բացասական բաղադրիչ, որն իր բացարձակ մեծությամբ աճում է աստղերի լուսատվության հետ միասին: Այդ բաղադրիչը աշխատության մեջ քննարկվում է որպես О—В0 աստղերի մակերևութային շարժերից նյութի արտահոսքի երևույթի հետևանք:

ЛИТЕРАТУРА

1. Frost E. B. and Adams E. C., Dec. Publ. Univ. of Chicago, 8, 105, 1904.
2. Торошадзе А. Ф., Бюлл. Абаст. Обс. 15, 115, 1933.
3. Plaskett J. S., MN. 90, 616, 621, 1930; 98, 518, 1938.

4. *Plaskett J. S. and Pearce J. A.* Publ. Dom. Ap. Obs., 5, 4, 1936.
5. *Smart W. M. and Green H. E.* MN, 96, 471, 1936.
6. *Weaver H. F.* Vistas in Astronomy (Ed. A. Beer.), 1, 227, 1955.
7. *Ali A.* MN, 101, 324, 1941.
8. *Pişmiş P. and Prieto A.* Ap. J., 101, 314, 1945.
9. *Филан А. Я.* Астр. Ж., 84, 525, 1957.
10. *Wilson R. E.* General Catalogue of Stellar Radial Velocities, Washington, 1953.
11. *Stebbins J., Huffer C. and Whitford A.* Ap. J., 91, 20, 1940.
12. *Oosterhoff P. Th.* BAN, 11, 299, 1951.
13. *Schild J. and Jackson C.* A. J. 56, 209, 1951.
14. *Morgan W. W., Code A. D. and Whitford A. E.* Ap. J. Suppl., 2, 41, 1955.
15. *Dufty A. F.* MN, 92, 688, 1932.
16. *Keenan P. C. and Morgan W. W.* Astrophysics (Ed. J. A. Hynek), New York, Mc Graw-Hill Book, p. 23, 1951.
17. *Johnson H. L. and Hiltner W. A.* Ap. J. 123, 267, 1955.
18. *Мельников О. А.* Труды ГАО, 64, 127, 1950.
19. *Шайн Г. А.* Бюлл. Абаст. Обс., 7, 83, 1943.
20. *Куликосский П. Г.* Бюлл. ГАИШ, № 2, 1940.
21. *Vlaauw A.* Publ. Karteyn Astr. Lab. Groningen, № 52, 1946.
22. *Аракелян М. А.* Известия АН Армянской ССР, серия физ.-мат. наук, 10, № 3, 1957.