

АСТРОНОМИЯ

Б. Е. Маркарян

Флюктуации в числах звезд по данным звездных подсчетов

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 20 IX 1944)

Изучение иррегулярностей в видимом распределении звезд представляет интерес как для звездной статистики, так и для установления структурных особенностей поглощающей среды в Галактике.

В этой статье мы попытались дать анализ флюктуаций в числах звезд по данным звездных подсчетов. Для этой цели были рассмотрены:

1. Данные Van-Rhijn-a, выведенные из Mount Wilson-овских и Harvard-ских подсчетов, произведенных в избранных площадках Каптейна ⁽¹⁾;
2. Подсчеты Лавдовского, произведенные в созвездиях Близнецов и Ориона ⁽²⁾;
3. Подсчеты Lois Kiefer-a и Robert H. Baker-a в созвездии Auriga ⁽³⁾.

Из рассмотренных площадок в количестве 73 было составлено семь групп. Первые четыре группы были составлены из избранных площадок Каптейна, V из площадок Лавдовского, VI и VIII из площадок и зон Lois Kiefer-a и Robert H. Baker-a. При этом в одну и ту же группу были собраны площадки, сравнительно близкие друг к другу, особенно по галактической широте. Затем данные подсчетов были редуцированы к средним координатам площадок каждой группы (за исключением VI и VII групп, т. к. координаты площадок этих групп отличаются друг от друга незначительно) с целью исключения эффекта галактической концентрации.

Анализ подсчетов чисел звезд. В качестве характеристики флюктуаций для каждой группы рассматривалось средне-квадратичное отклонение $N(m)$ от $\overline{N(m)}$:

$$\sigma = \sqrt{[N(m) - \overline{N(m)}]^2},$$

где $N(m)$ число звезд ярче величины m , отнесенное к одному кв. градусу, а $\overline{N(m)}$ среднее значение $N(m)$ по группе. Поэтому обозначая

через δ относительные средне-квадратичные флуктуации чисел звезд — $N(m)$, будем иметь:

$$\delta^2 = \frac{\overline{N(m)^2} - \overline{N(m)}^2}{\overline{N(m)}^2} \quad (1)$$

На основании редуцированных значений чисел звезд по этой формуле были вычислены относительные средне-квадратичные флуктуации чисел звезд отдельно для звезд последовательных звездных величин. Значения δ^2 , усредненные по величинам для каждой из групп, приведены в 3-м столбце таблицы 1.

Самое главное, что можно констатировать на основании данных этого столбца—это то, что *относительные средне-квадратичные флуктуации чисел звезд сильно возрастают по мере уменьшения галактической широты*, несмотря на возрастание среднего значения $N(m)$. Этот факт заслуживает особого внимания и нуждается в теоретической трактовке.

В качестве причин, могущих вызвать флуктуации, можно привести нижеследующие:

а) естественные флуктуации в пространственном распределении звезд, а также в распределении их в проекции на небесную сферу;

б) ошибки в предельных звездных величинах, различные для различных площадок;

с) флуктуации в междузвездном поглощении.

а. Известно, что естественное средне-квадратичное отклонение числа звезд, приходящихся на какую-нибудь площадь, равняется квадратному корню от его среднего значения.

Поэтому

$$\sigma_{\text{ест.}} = \sqrt{N_1(m)},$$

отсюда находим:

$$\delta^2_{\text{ест.}} = \frac{1}{N_1(m)} \quad (2)$$

где $N_1(m)$ фактически-наблюдаемые числа звезд ярче m -ой величины.

Таблица 1

№№ групп	Средн. гал. широта	Средние значения по группам		
		δ^2 наб.	δ^2 ест.	δ^2 сум. яр.
I	0°	0.090	0.005	0.092
II	±10	0.076	0.005	0.075
III	±30	0.040	0.008	0.030
IV	±40	0.030	0.008	0.020
V	—10	0.123	0.020	0.082
VI	+10	0.096	0.003	0.100
VII	0	0.134	0.003	0.126

Вычисленные значения $\delta^2_{\text{ест.}}$ по формуле (2) приведены в четвертом столбце таб. 1. Как мы видим, значения $\delta^2_{\text{ест.}}$, во-первых, составляют весьма малую долю выявленных относительных средне-квадратичных флуктуаций, которые приведены в третьем столбце таб. 1, а во-вторых, они дают совершенно противоположный ход в том смысле, что при уменьшении галактической широты убывают.

б. Рассмотрим теперь влияние на звездные подсчеты ошибок в предельных звездных величинах.

Наблюдаемые числа звезд, как функцию предельной величины на небольшом интервале звездных величин, можно представить в первом, самом грубом приближении в виде:

$$N(m) = Ce^{\lambda m}.$$

Допустим, что при определении предельной звездной величины m в данной площадке допущена некоторая ошибка; обозначим ее через Δm , тогда наблюдаемое значение $N(m)$ окажется равным:

$$N(m) = Ce^{\lambda(m + \Delta m)} = N_0 e^{\lambda \Delta m}.$$

Вероятность ошибки Δm определится законом Гаусса, т. е.

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \beta} e^{-\frac{\Delta m^2}{2\beta^2}},$$

поэтому среднее значение величины — $N(m)$ определится следующим образом:⁴

$$\overline{N(m)} = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi} \beta} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{\lambda \Delta m} e^{-\frac{\Delta m^2}{2\beta^2}} d\Delta m.$$

Производя интегрирование и возводя в квадрат, находим:

$$\overline{N(m)}^2 = N_0^2 e^{\lambda^2 \beta^2} \quad (3)$$

Таким же образом находим значение $\overline{N(m)^2}$:

$$\overline{N(m)^2} = N_0^2 e^{2\lambda^2 \beta^2} \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (1) для относительной среднеквадратичной флуктуации, обусловленной ошибками в предельных звездных величинах, получаем:

$$\delta^2_{\text{пред.}} = e^{\lambda^2 \beta^2} - 1$$

или разлагая в ряд $e^{\lambda^2 \beta^2}$ и ограничиваясь, ввиду малости $(\lambda^2 \beta^2)$, первыми двумя членами ряда, имеем:

$$\delta^2_{\text{пред.}} = \lambda^2 \beta^2 \quad (5)$$

Значение параметра λ определяется данными подсчетов чисел

звезд. В среднем оно равняется 0.8. β из себя представляет средне-квадратичную ошибку в звездных величинах. Как известно из теории ошибок, крайне невероятно, чтобы случайная ошибка получилась больше утроенной средне-квадратической, поэтому

$$\Delta m_{\max} = 3\beta.$$

Если примем $\Delta m_{\max} = 0.3$, то получим $\beta = 0.1$. Подставляя значения λ и β в (5), находим:

$$\delta^2_{\text{пред.}} = 0.006.$$

Если принять меньшее значение для $\Delta m_{\max}$, то значение $\delta^2_{\text{пред.}}$ будет еще меньше.

с. Таким образом, очевидно, что флуктуации, вызванные естественными отклонениями и ошибками в предельных звездных величинах, вместе взятые, никак не могут объяснить иррегулярности в видимом распределении звезд.

Заметим здесь, что и Öpik в своей работе „Stellar Distribution and the Law of Chance“ (5) показал, что (для ярких звезд) наблюдаемые флуктуации в числах звезд не могут быть объяснены одними лишь случайными колебаниями пространственной плотности. Он показал также, что тенденция звезд к скучиванию также не может обусловить основную долю наблюдаемых флуктуаций. После всего этого, учитывая некоторые, уже выявленные, главным образом В. А. Амбарцумяном (6), данные о структуре межзвездной поглощающей среде и установленный нами характер изменения относительных средне-квадратичных флуктуаций чисел звезд в зависимости от галактической широты, естественно предположить, что флуктуации в видимом распределении звезд на данной галактической параллели вызваны, главным образом, иррегулярностями межзвездной поглощающей среды.

Анализ суммарных яркостей звезд. Наряду с анализом флуктуаций чисел звезд представляет большой интерес также анализ флуктуаций суммарных яркостей звезд, приходящихся на единицу площади неба. Эти суммарные яркости, когда они охватывают все звездные величины, представляют собой звездную компоненту поверхностной яркости неба.

Метод анализа аналогичен тому, который применялся в § 1. Для получения суммарных яркостей звезд достаточно число звезд данной величины $(m + \frac{1}{2}) - A(m + \frac{1}{2})$ умножить на соответствующую яркость $-E_{m+\frac{1}{2}}$ и просуммировать по всем m , т. е.

$$I = \sum_m A(m + \frac{1}{2}) E_{m+\frac{1}{2}} \quad (6)$$

К сожалению, мы не обладаем данными чисел звезд всех величин и приходится суммировать по ограниченному интервалу, но, повидимо-

му, это мало скажется на результатах, т. к. известно, что на суммарную яркость звезд всех величин влияют, главным образом, звезды 13-ой, 14-ой и 15-ой величин.

Если за единицу принять яркость звезды нулевой величины, то, как известно,

$$E_{m + \frac{1}{2}} = 10^{-0.4 (m + \frac{1}{2})},$$

поэтому уравнение (6) переписывается в виде:

$$I = 10^{-0.4 (c + \frac{1}{2})} I_1,$$

где

$$I_1 = \sum_{m=c}^{\infty} A (m + \frac{1}{2}) 10^{-0.4 (m - c)},$$

а c принимает значение 13 для I, II, III и IV групп и 9 для V, VI и VII групп, т. к. данные для ярких звезд отсутствуют. По этой формуле на основании подсчетов звезд были вычислены значения I_1 для всех площадок, а на основании последних по формуле

$$\sigma^2 = \frac{\overline{I^2} - \overline{I}^2}{\overline{I}^2} = \frac{\overline{I_1^2} - \overline{I_1}^2}{\overline{I_1}^2}$$

были определены значения относительной средне-квадратичной флуктуации суммарных яркостей звезд по группам, которые приведены в 5-ом столбце таб. 1. Вычисленные относительные средне-квадратичные флуктуации суммарных яркостей звезд можно почти полностью приписать иррегулярностям поглощающего слоя в Галактике, т. к. остальные причины играют незначительную роль.

Полученные результаты, как видно, поразительно хорошо сходятся с результатами, которые были получены анализом флуктуаций чисел звезд.

Теоретический анализ суммарных яркостей звезд для разных галактических широт. Исходя из анализов подсчетов чисел звезд и суммарных их яркостей, можно считать установленным тот факт, что относительные флуктуации чисел звезд и суммарных их яркостей сильно возрастают по мере уменьшения галактических широт. Представляется весьма вероятным, что это явление вызывается флуктуациями в космическом поглощении. Однако для строгого объяснения этого явления необходимо построить теорию флуктуаций чисел звезд и суммарных их яркостей, вызываемых иррегулярностями в структуре поглощающего слоя. В основу этой теории должна лечь какая-либо гипотеза о характере этой иррегулярности.

Допустим, что эти иррегулярности выражаются в клочковатой структуре поглощающего слоя.

К сожалению, теоретический анализ флюктуаций чисел звезд на основании этой гипотезы встречает некоторые трудности, но он может быть успешно проведен для суммарных яркостей звезд путем обобщения метода Амбарцумяна, который был применен им при изучении флюктуации поверхностных яркостей в Млечном Пути (⁷), поскольку суммарные яркости по существу являются теми же поверхностными яркостями.

Представим галактическую систему в виде плоско параллельных слоев равной звездной плоскости. Помимо этого допустим, что галактическое пространство равномерно заполнено поглощающими облаками с постоянной прозрачностью q .

Обозначим через $n(r)$ число облаков, расположенных в каком-нибудь направлении до расстояния r , тогда ясно, что свет от звезды, находящейся на расстоянии r , ослабнет $q^{n(r)}$ раз. Поэтому, если через η обозначим коэффициент излучения галактического пространства (т. е. излучение звезд единичного объема в единичном угле), то полная яркость в слое, простирающемся до расстояния R в каком-нибудь направлении будет равна:

$$I = \eta \int_0^R q^{n(r)} dr \quad (7)$$

Задача наша заключается в вычислении относительной средне-квадратичной флюктуации величины I . Значение ее мы находим по формуле:

$$\delta^2 = \frac{\overline{I^2} - \bar{I}^2}{\bar{I}^2} \quad (8)$$

Вычисление $\bar{I}^2$ и $\overline{I^2}$, т. е. квадрата среднего значения и среднего значения квадрата интеграла (7), приводит к следующим результатам:

$$\bar{I}^2 = \frac{\eta^2}{v^2(1-q)^2} [1 - A]^2,$$

$$\overline{I^2} = \frac{2\eta^2}{v^2(1-q)^2 q(1+q)} [q(1-A) - (A-B)],$$

где

$$A = e^{-vR(1-q)}, \quad B = e^{-vR(1+q)}.$$

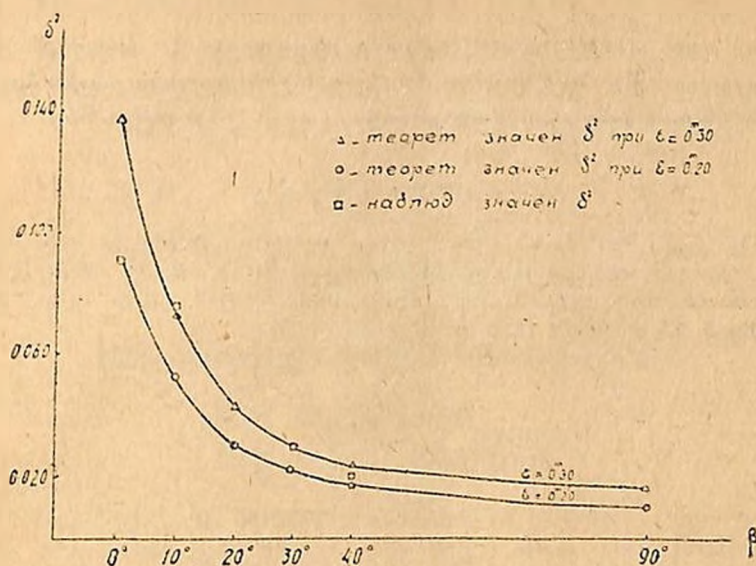
Подставляя эти значения $\bar{I}^2$ и $\overline{I^2}$ в (8), имеем:

$$\delta^2 = \frac{2[q(1-A) - (A-B)]}{q(1+q)(1-A)^2} - 1 \quad (9)$$

Все величины, входящие в (9), поддаются вычислению, кроме q . Выражая его через оптическую толщину поглощающих облаков и принимая для последней значения 0.3 и 0.2 , вычислили теоретические

значения δ^2 для разных галактических широт. Теоретические значения δ^2 вместе с наблюдениями ее значения нанесены на чертеж 1.

Из чертежа видно, что наблюдаемые значения δ^2 располагаются между кривыми теоретических значений δ^2 .



Чертеж 1.

Таким образом, теоретический анализ суммарных яркостей звезд показывает, что установленный анализами подсчетов чисел звезд и суммарных их яркостей факт возрастания относительной средней квадратичной флюктуации с убыванием галактической широты целиком объясняется гипотезой о клочковатой структуре поглощающего слоя.

В заключение приношу глубокую благодарность акад. В. А. Амбарцумяну за указания, сделанные при выполнении настоящей работы.

Астрономическая обсерватория

Академии Наук Арм. ССР

Ереван, 1944, сентябрь.

Բ. Ե. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ

Ֆիզիկոսացիաները աստղերի բվերի մեջ՝ ըստ աստղային հաճվումների
պայաների

1. Ներկա հոդվածում ամփոփված են աստղային հաշվումների հիման վրա կատարված՝ աստղերի թվերի և նրանց գումարային պայծառությունների միջև եղած ֆիզիկոսացիաների հետադրաման արդյունքները:

2. Համաձայն աստղային արդյունքների (տես աղ. 1), աստղերի թվերի և նրանց գումարային պայծառությունների հարաբերական միջին քառակուսային ֆիզիկոսացիաները խիստ աճում են վաղախորհակամ լայնություններում հետ:

3. Հայտարարված ֆլուկտուացիաների պատճառների դիտարկումը բերում է այն հզրակացության, որ նրանք պայմանավորված են, գլխավորապես, միջաստղային կլանող նյութի խտության տատանումներով:

4. Աստղերի դումարային պայծառությունների տեղական անալիզը, հիմնված միջաստղային կլանող նյութի կտորածե (жлочковатый) լինելու հիպոթեզի վրա, գրեթե ամբողջությամբ բացատրում է աստղերի դումարային պայծառությունների հարաբերական միջին-քառակուսային ֆլուկտուացիաների արագ աճը՝ կախված գալակտիկական լայնությունից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Groningen Publ. № 43, 1929. 2. Известия Пулк. Обсер. № 133, том XVI, 4—1941. 3. Astrophysical Journal, vol. 94, November 1941. 4. В. Н. Гливенко. „Курс теории вероятностей“—1939. 5. Tartu Publ.—1924. 6. Bull. Abast. Obs. №№ 2, 4 (1938, 1940). 7. Бюлл. Абаст. Обсерв. (в печати).