

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

МАЙ, 1978

ВЫПУСК 2

УДК 524.7

## ЗОДИАКАЛЬНЫЙ СВЕТ И ВИДИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ГАЛАКТИК

Б. И. ФЕСЕНКО

Поступила 20 мая 1977

Пересмотрена 12 января 1978

Средняя поверхностная яркость галактики с учетом ее внешних областей, различных на картах Паломарского атласа, сравнима с минимальной яркостью зодиакального света. Отсюда следует, что оценки интегрального блеска галактик весьма чувствительны к ошибкам в учете зодиакального света. Существование таких ошибок в случае известного каталога Цвикки с сотрудниками подтверждается тремя косвенными, но независимыми признаками. 1. В большой области неба вокруг северного галактического полюса направление максимального градиента плотности числа галактик ярче  $15^m$  приблизительно перпендикулярно к эклиптике. 2. При галактических широтах, превышающих  $36^\circ$ , численное значение этого градиента хорошо согласуется с градиентом яркости зодиакального света. 3. Число галактик слабее  $15^m$  растет при увеличении видимой величины быстрее, чем это ожидается при равномерном распределении галактик в пространстве. У эклиптики в интервале видимых величин от  $15^m$  до  $15^m$  блеск галактик завышен (они кажутся ярче) приблизительно на  $0^m$  по сравнению с областями, далекими от эклиптики. Необходима проверка этого предсказания фотоэлектрическим методом.

1. *Введение.* Основной вклад в яркость ночного неба вдали от Млечного Пути вносит зодиакальный свет — солнечный свет, отраженный пылью межпланетного пространства. Он убывает при угловом удалении от Солнца и эклиптики, но у этого правила есть исключение — противосияние. В окрестности точки с эклиптическими координатами  $\lambda = 180^\circ + \lambda_\odot$  и  $\beta = 0^\circ$ , где  $\lambda$  — долгота и  $\beta$  — широта, яркость повышена. При  $\lambda = 180^\circ + \lambda_\odot$  и изменении  $\beta$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  яркость зодиакального света в визуальной области спектра убывает от 205 до 78  $S_{10}$ , [1]. Здесь  $S_{10}$  — единица поверхностной яркости, соответствующая свету в  $10^m$ , исходящему от площадки в  $1 \square^\circ$ .

Более удобна для применения приведенная поверхностная яркость, определяемая ниже. Пусть  $eS_{10}$  — яркость данной области неба. Свету, исходящему от круглой площадки диаметром в  $1'$ , соответствует звездная величина  $J_S$ , удовлетворяющая соотношению

$$J_S - 10 = -2.5 \lg |\pi e S_{10} / (4 \cdot 60^2)| + 2.5 \lg S_{10}$$

или

$$J_S = 19.15 - 2.5 \lg e.$$

Величина  $J_S$  называется в дальнейшем приведенной поверхностной яркостью неба. Для перехода к яркости, выраженной в звездных величинах на  $1''$ , достаточно прибавить к величине  $J_S$  постоянное слагаемое, равное  $8^m63$ .

Пусть  $m$  и  $D$  — звездная величина и угловой диаметр в минутах дуги некоторой галактики. Свет ее можно мысленно равномерно распределить по площади кружка диаметра  $D$  и рассчитать звездную величину  $J$ , соответствующую свету от круглой площадки диаметром в  $1'$  и с такую же поверхностной яркостью, как и в упомянутом первом кружке. Очевидно,

$$J - m = -2.5 \lg (1/D^2)$$

или

$$J = m + 5 \lg D.$$

В дальнейшем величина  $J$  называется приведенной поверхностной яркостью галактики. Достоинство величины  $J$  состоит в том, что она не зависит от ориентации галактики относительно наблюдателя (если в галактике отсутствует самопоглощение света). Кроме того, эту величину легко рассчитывать.

Рассмотрим примеры значений  $J$ . Для близкой галактики М 31 с  $m = 4^m3$  и  $D = 200'$ ,  $J = 15^m8$ . Для типичной галактики каталога UCG [2] с  $m = 15^m0$  и  $D = 1.1$  имеем  $J = 15^m2$ . Для 400 галактик, каждая из которых является ярчайшей в соответствующем поле каталога [3], среднее значение  $J$  равно  $15^m2$ . При расчетах использовались данные каталога [2]. С другой стороны, изменению яркости зодиакального света от 205 до 78  $S_{10}$  (см. выше) соответствует изменение величины  $J_S$  от  $13^m4$  до  $14^m4$  в визуальной области, или от  $13^m9$  до  $14^m9$  — в фотографической области спектра. Разность фотографической и визуальной яркостей принята равной  $0^m5$ , как и в случае Солнца.

Следовательно, средняя яркость изображений галактик (с учетом протяженных внешних областей, различимых на картах Паломарского атласа) несколько ниже яркости зодиакального света даже при  $|\lambda - \lambda_{\odot}| = 180^\circ$ . На указанной долготе диапазон колебаний величины  $J_S$  достигает  $1^m$ . Это больше диапазона колебаний в поглощении света за пределами Млечного Пути. Поэтому влияние неучтенного зодиакального света на измеряемые угловые диаметры и видимые величины галактик должно быть большим.

Целью данной работы является предварительное изучение влияния зодиакального света на видимые величины слабых галактик (с  $m \geq 15^m3$ ) каталога [3]. В указанном каталоге эти галактики составляют более половины всех объектов.

2. *Признаки влияния зодиакального света на видимые величины галактик.* В каталоге [3] предельная звездная величина галактик составляет  $15^m7$ . Оценка величин  $m \leq 15^m3$  выполнялась путем сравнения изображений галактик, размазанных по квадратам  $1 \times 1'$  (для этого перемещалась кассета), с последовательностью стандартных изображений, которые были калиброваны при помощи звезд из нескольких избранных площадок. Насколько можно понять из работы [4], звезды сравнения не обязательно располагались в том же поле, в котором находились исследуемые галактики. При  $m \geq 15^m3$  преобразованные изображения галактик уже так мало выделялись над фоном, что приходилось изучать прямые изображения и определять блеск привязкой к галактикам с  $m \leq 15^m3$ .

Неточности учета зодиакального света могут вызвать заметные искажения в калибровочной кривой в связи с тем, что колебания плотностей почернения преобразованных изображений почти в чистом виде отражали колебания в яркости зодиакального света.

На возможность соответствующих ошибок указывают следующие данные наблюдений. 1) Градиент плотности числа галактик максимален в направлениях, приблизительно перпендикулярных к эклиптике. 2) Численно этот градиент соответствует изменению яркости зодиакального света. 3) Число галактик растет при увеличении предельной звездной величины значительно быстрее, чем ожидается при равномерном распределении объектов в пространстве.

1. Рассмотрим область неба с  $b \geq 56^\circ$  ( $b$  — галактическая широта). Все поля каталога [3], попавшие в эту область, разделим на две группы, А и В. Линией раздела между ними пусть служит дуга малого круга  $LM$ , проходящего через северный галактический полюс и с плоскостью, перпендикулярной к кругу солнцестояний (рис. 1). Введем угол  $\alpha$  между плоско-

стью круга  $LM$  и плоскостью эклиптики,  $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ . Этот угол отсчитывается так, как указано на рис. 1. Все поля, попавшие внутрь угла  $\alpha$ , отнесем к группе В, остальные поля включим в группу А. Сравним средние числа галактик в расчете на одно поле,  $\langle n_{15.7} \rangle$  в группах А и В при разных  $\alpha$ . Разности средних значений  $n_{15.7}$  в смысле „А — В“ приводятся в табл. 1. Среднее отклонение среднего арифметического рассчитывалось по колебаниям величин  $n_{15.7}$  в полях групп А и В в отдельности.



Рис. 1.

Таблица 1

| $\alpha$  | $\Delta n_{15.7}$ |
|-----------|-------------------|
| $0^\circ$ | $-32.6 \pm 8.4$   |
| $30$      | $-18.4 \pm 8.9$   |
| $60$      | $-11.5 \pm 8.9$   |
| $90$      | $+14.4 \pm 8.9$   |
| $120$     | $+24.6 \pm 8.9$   |
| $150$     | $+38.8 \pm 8.3$   |

При любом  $\alpha$  поля в группах А и В почти одинаково распределены по галактической широте (границы краевых полей несколько не совпадали с линией  $b = 56^\circ$ ). Почти одинаковы и распределения зенитных расстояний, так как на широте Паломарской обсерватории суточная параллель галактического полюса, т. е. центра всей области, проходит всего в  $6^\circ$  от зенита, а наблюдения выполнялись вблизи меридиана.

Из данных табл. 1 видно, что наибольшие значения  $|\Delta n_{15.7}|$  соответствуют углам  $\alpha = 0^\circ$  и  $150^\circ$ . Наименьшие значения модуля разности наблюдаются при  $\alpha = 60^\circ$  и  $90^\circ$ . Следовательно, эти данные указывают, что угол между эклиптикой и направлением максимального градиента плотности числа галактик заключен между  $60^\circ$  и  $90^\circ$ . Наивероятнейшее отклонение этого угла от ожидаемого значения в  $90^\circ$  составляет всего около  $20^\circ$ .

Для объяснения несовпадения абсолютных значений  $\Delta n_{15.7}$  при углах, симметричных относительно  $\alpha = 90^\circ$  (на это обстоятельство обратил внимание автора А. С. Шаров), достаточно допустить, что ошибки, указанные в табл. 1, занижены в 1.5 раза. Такое допущение является вполне вероятным, так как при расчете ошибок в табл. 1 величины  $n_{15.7}$  в отдельных



полях считались взаимно независимыми, т. е. роль неравномерного поглощения света и возможной неоднородности данных каталога [3] не учитывалась.

2. Расширим первоначальную область, передвинув ее границу до  $= 36^\circ$ . При этом круговая симметрия области сильно нарушается. Дальнейшее расширение нежелательно, ввиду возрастающей близости Млечного Пути и увеличения зенитных расстояний. Все поля разделим на четыре группы по эклиптической широте. Средние значения величин  $n_{15.7}$  в разных группах приводятся в табл. 2. В столбце 4 даны средние значения чисел атомов нейтрального водорода со скоростями, меньшими 75 км/сек (относительно местного центроида) в столбе с поперечным сечением в  $1 \text{ см}^2$ ,  $N_H$ , согласно данным работы [5]. В столбце 5 указаны средние зенитные расстояния и в столбце 6 — средние приведенные яркости зодиакального света в фотографических величинах.

Таблица 2

| Интервал $\beta$ | Число полей | $\langle n_{15.7} \rangle \pm \text{ср. ош.}$ | $\langle N_H \rangle \cdot 10^{-19}$ | $\langle z \rangle$ | $\langle J_S \rangle$ | $\epsilon$ |
|------------------|-------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| $-15-19^\circ$   | 66          | $97.7 \pm 8.3$                                | 39                                   | 20.9                | $14^m 16$             | $+0^m 6$   |
| $20-39$          | 57          | $84.0 \pm 3.7$                                | 33                                   | 13.2                | 14.39                 | $+0.4$     |
| $40-59$          | 60          | $56.6 \pm 2.9$                                | 31                                   | 16.4                | 14.59                 | $+0.2$     |
| $> 60^\circ$     | 28          | $47.9 \pm 6.3$                                | 26                                   | 25.6                | 14.74                 | 0.0        |

Систематическое убывание величин  $\langle n_{15.7} \rangle$  при удалении областей от эклиптики (при возрастании  $\beta$ ) не вызывает сомнений. Оно не связано с изменением поглощения света, так как значения величины  $\langle N_H \rangle$ , коррелированной с поглощением, не возрастают при увеличении  $\beta$ . Маловероятна и роль зенитных расстояний, так как средние значения их испытывают сравнительно небольшие и немонотонные изменения.

Связь между средней плотностью числа галактик и приведенной яркостью зодиакального света прослеживается весьма четко. Значения  $J_S$  усреднялись по соответствующему интервалу  $\beta$  для значений  $|\lambda - \lambda_\odot|$ , изменяющихся от  $120^\circ$  до  $180^\circ$ . Зависимость  $\langle J_S \rangle$  от  $\beta$  мало чувствительна к диапазону изменения  $\lambda$ , если  $|\lambda - \lambda_\odot| \geq 120^\circ$ .

Объяснение систематического изменения величин  $\langle n_{15.7} \rangle$  может быть следующим. Зодиакальный свет несомненно ухудшает видимость галактик. Поэтому на картах Паломарского атласа точная предельная величина еще различных галактик вблизи эклиптики может быть на  $0^m 3 - 0^m 6$  меньше, чем вдали от нее. Однако галактики с  $m \leq 15^m 7$  —

это гораздо более яркие объекты и отбираются они в каталог по видимым величинам, определенным неправильно. Близость полей к эклиптике способствует занижению видимых величин этих галактик (т. е. они кажутся более яркими, чем они есть на самом деле) — благодаря неучтенному зодиакальному свету, значительная часть которого приписывается исследуемым объектам. В результате истинная предельная величина галактик оказывается равной  $15^m7 + \varepsilon$ , где  $\varepsilon > 0$  — поправка к измеренным звездным величинам. Соответственно увеличивается и число галактик.

При равномерном распределении галактик в пространстве (космологические и эволюционные эффекты в данном интервале блеска еще малы) имеем

$$\lg \langle n_{15.7} \rangle = 0.6 (15.7 + \varepsilon) + C = 0.6 \varepsilon + C_1, \quad (1)$$

где  $C$  и  $C_1$  — постоянные. Следовательно, отношение  $(\lg \langle n_{15.7} \rangle)/0.6$  с точностью до постоянного слагаемого равно той поправке, которую нужно прибавить к каталожному значению  $m$ , чтобы получилось точное значение этой величины.

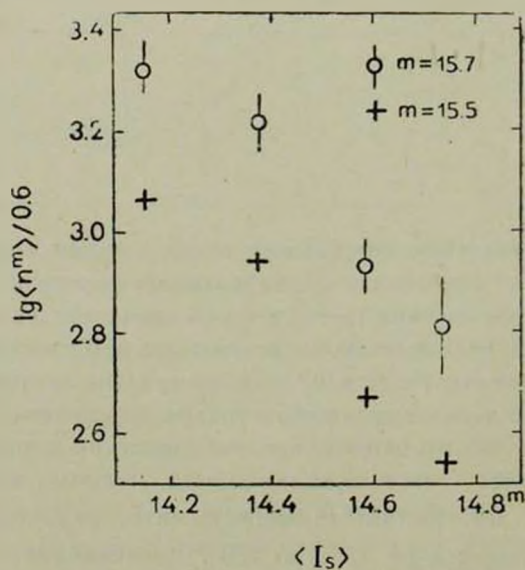


Рис. 2.

График зависимости  $(\lg \langle n_{15.7} \rangle)/0.6$  от  $\langle I_s \rangle$  приводится на рис. 2. Зависимость оказалась почти линейной с угловым коэффициентом около — 1. Это соответствует случаю, когда поверхностная яркость слабой галактики составляет только небольшую часть от яркости зодиакального света, который приписывается этой же галактике. Чем сильнее зодиакальный

свет, тем меньше значение  $\langle J_s \rangle$  и тем больше поправка, которую нужно прибавить к наблюдаемой величине галактики. На рис. 2 кружки и крестики относятся к выборкам галактик ярче  $15^m7$  и  $15^m5$  соответственно. Длина черточек показывает величины средних отклонений, рассчитанных по разбросу чисел галактик в отдельных полях.

В столбце 7 табл. 2 даны средние значения поправок к видимым величинам объектов каталога [3] при  $m = 15^m3 - 15^m7$ . Они рассчитаны из равенства (1) по известным значениям  $\langle r_{15.7} \rangle$  и в предположении, что  $z = 0$  при  $b \geq 60^\circ$ . Если  $z = 0$  в каком-нибудь другом интервале значений  $\beta$ , то ко всем числам столбца 7 следует прибавить одно и то же слагаемое. Ширина диапазона колебаний  $z$  останется прежней—около  $0^m6$ .

Величина поправок  $z$  свидетельствует о неожиданно большом действии зодиакального света на определяемые в каталоге [3] видимые величины слабых галактик.

3. Рассмотрим косвенное свидетельство реальности действия зодиакального света, изученного в предыдущих пунктах. При переходе к более слабым объектам яркость их преобразованных изображений убывает и относительный вклад зодиакального света в суммарную поверхностную яркость увеличивается. При этом ошибки определения величин должны возрастать. Поэтому рост числа галактик при увеличении каталожной видимой величины  $m$  должен происходить быстрее, чем при отсутствии обсуждаемых ошибок. Действительно, истинная предельная величина  $m + \epsilon$  изменяется не только благодаря увеличению  $m$ , но и благодаря увеличению  $z$ , происходящему одновременно. Это предсказание является еще одним критерием для проверки реальности действия зодиакального света.

В табл. 3 приводятся данные о среднем числе галактик ярче каталожной величины  $m$  в расчете на одно поле размерами  $6 \times 6^\circ$ . Области неба с  $b < 36^\circ$  исключались. В столбце 3 приводятся значения угловых коэффициентов  $\gamma$  для зависимости  $\lg \langle n_m \rangle - m$  в разных интервалах значений  $m$ . Теоретический коэффициент при отсутствии ошибок приблизительно равен 0.6. Это может не выполняться при  $m < 15^m$  ввиду действия ошибок определения видимых величин, обсужденных в работе [6]. Как и ожидалось, угловые коэффициенты при  $m > 15^m$  превышают теоретическое значение.

В последнем столбце табл. 3 сравниваются средние плотности чисел галактик вблизи и вдали от эклиптики. Здесь мы видим еще одно подтверждение роста эффекта зодиакального света при увеличении  $m$ .

3. *Заключение.* Независимую и надежную проверку роли зодиакального света могло бы дать исследование фотоэлектрических величин слабых

галактик каталога [3]. К сожалению, таких данных, которые были бы и массовыми, и однородными, нет в нашем распоряжении. Использование поправок  $\varepsilon$  из табл. 3 является преждевременным. Эти поправки отражают лишь общую тенденцию, выявляющуюся при рассмотрении больших областей неба. В каждом отдельном поле возможно сильное отклонение поправки от ее ожидаемого значения (согласно табл. 3), так как зодиакальный свет является хотя и главным, но не единственным компонентом яркости ночного неба. Кроме того, возможны искажения наблюдательного материала, имеющие иное происхождение.

Таблица 3

| $m$                | $\langle n_m \rangle$ | $\gamma$ | $\lg \frac{\langle n \rangle_{ \beta  < 40^\circ}}{\langle n \rangle_{ \beta  > 40^\circ}}$ |
|--------------------|-----------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13 <sup>m</sup> 95 | 5.27                  | 0.522    | 0.081                                                                                       |
| 14.95              | 17.50                 | 0.755    | 0.154                                                                                       |
| 15.55              | 49.70                 | 0.790    | 0.229                                                                                       |
| 15.75              | 71.50                 |          | 0.240                                                                                       |

Необходима специальная программа фотоэлектрических наблюдений для проверки результатов, изложенных в этой заметке. Если действие зодиакального света подтвердится, то фотоэлектрический метод поможет найти поправку к видимым величинам для каждого поля каталога [3]. Это сразу же сделает более полноценными данные о многих тысячах объектов каталога.

Автор искренне признателен А. С. Шарову (ГАИШ), просмотревшему первые варианты этой работы и высказавшему много ценных замечаний.

Псковский педагогический  
институт

## THE ZODIACAL LIGHT AND THE APPARENT MAGNITUDES OF GALAXIES

B. I. FESSENKO

The mean surface brightness of a galaxy with its faint outer regions discernable on the Palomar Atlas chart is comparable with the minimum brightness of the zodiacal light. It follows from the above statement that estimations of the integral apparent magnitudes of galaxies are very sensitive to the errors in the accounting of the zodiacal light.



The existence of such errors in the case of the known catalogue of Zwicky with collaborators is supported by three indirect but independent indications. 1. In a large region around the north galactic pole the direction of maximum gradient of the galaxy number density is approximately perpendicular to the ecliptic. 2. At  $b \geq 36^\circ$  the number values of that gradient corresponds rather well to the values of the zodiacal light brightness gradient. 3. With the increase of a limited apparent magnitude the number of galaxies increases, with a larger rate than possibly of a uniform distribution of galaxies in space.

In this paper the galaxies fainter than  $15^m3$  are considered. The systematic error in the apparent magnitudes of the galaxy may amount to the value  $0^m6$ . Near the ecliptic the galaxies appear brighter than they are in reality.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. F. E. Roach, J. L. Gordon, The Light of the Night Sky, Dordrecht—Holland—Boston, USA, 1973.
2. P. Nilson, Uppsala Catalogue of Galaxies, 1973.
3. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, M. Karpowicz, C. Kowal, Catalogue of Galaxies and of Clusters of Galaxies, Zurich, Vol. 1—6, 1961—1968.
4. E. Herzog, P. Wild, F. Zwicky, P. A. S. P., 69, 409, 1957.
5. Ch. R. Tolbert, Astron. Astrophys. Suppl. ser., 3, 5, 349, 1971.
6. V. C. Rubin, N. Thonnard, W. K. Ford Jr., M. S. Roberts, A. J., 81, 719, 1975.