

ФЛЮКТУАЦИИ В ЧИСЛЕ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ТУМАННОСТЕЙ И ГАЛАКТИЧЕСКОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ

В. А. АМБАРЦУМИАН

Первые же исследования по космическому поглощению показали, что поглощающий слой в нашей галактике имеет довольно сложную и неправильную структуру.

Исходя из данных, относящихся к статистике диффузных туманностей, автор совместно с Горделадзе¹ пришли к заключению, что связь между диффузными туманностями и освещающими их звездами носит характер случайной встречи и что существует огромное число «неосвещенных» туманностей, которые должны производить поглощение. Было показано, что совокупность неосвещенных туманностей может дать космическое поглощение в среднем порядка одной величины на килопарсек и, что, следовательно, полностью или почти полностью общее поглощение может быть объяснено действием этих неосвещенных туманностей. Поглощение каждой из неосвещенных туманностей было предварительно оценено примерно в 0.3 фотографической величины, но никакой проверки правильности этой оценки не было сделано.

Greenstein, исходя из других соображений, пришел независимо к гипотезе о том, что общее космическое поглощение обусловлено совокупностью отдельных облаков². Однако, согласно его оценке, средняя оптическая толщина каждого облака порядка 0.11 . Впоследствии вопрос этот был рассмотрен Крейкеном³ в связи с существованием «галактических окон», причем оптическая толщина каждого облака принималась порядка 1^m и больше. Заметим, что и Веккер, исследуя селективное поглощение в некоторых направлениях, счел необходимым приписать его отдельным облакам, расположенным на различных расстояниях от нас⁴. При этом для колор-экссесса от одного облака получались величины от 0.1^m до 0.3^m . До сих пор обычно принималось, что в среднем фотографическое поглощение примерно вдвое превосходит колор-экссесс. Поэтому эти цифры можно было бы считать указанием на то, что оптическая толщина каждого облака в фотографических лучах заключена между 0.2^m и 0.6^m . Однако, в своем новом исследовании Oort⁵ привел ряд серьезных доводов в пользу того,

что отношение фотографического поглощения к селективному порядка 5, откуда следует, что результаты Вескера приводят к оптической толщине каждой туманности порядка $0^m5 - 2^m0$.

Это разнообразие в оценке средней оптической толщины темных облаков, производящих межзвездное поглощение, указывает на необходимость решения этого вопроса с помощью какого-нибудь нового метода. Таким методом в известной степени может явиться анализ подсчетов внегалактических туманностей. Известно, что флюктуации в числе внегалактических туманностей, полученные на основании работы Хаббла⁶, не могут быть объяснены случайными колебаниями⁷. Поэтому остаются две гипотезы для объяснения большой величины этих флюктуаций: 1) влияние скоплений галактик⁸ и 2) влияние флюктуаций в галактическом поглощении.

Нам кажется, однако, что скопления типа Virgo cluster, влияя сильно на распределение ярких галактик, не могут сказаться сильно на флюктуациях в распределении слабых галактик, которые в основном входят в подсчеты Хаббла.

Дело в том, что чем более слабые галактики мы берем, тем больше отношение охватываемого нашим исследованием расстояния к линейному диаметру среднего скопления галактик.

Поэтому, несмотря на меньшую плотность общего поля галактик, начиная с некоторого момента, число галактик общего поля, видимых в направлении данного скопления, во много раз будет превосходить число членов скопления. Правда, можно возразить, что число самих скоплений галактик может быть настолько велико, что луч зрения проходит на больших расстояниях, охватываемых исследованием Хаббла, не одно, а большое число скоплений галактик. Но тогда очевидно, что сама множественность этих скоплений должна послужить причиной уменьшения флюктуаций в числе галактик.

В § 1 настоящей заметки мы покажем, что основной причиной больших флюктуаций в видимой плотности числа внегалактических туманностей являются флюктуации в галактическом поглощении. В § 2 мы выведем из флюктуаций чисел внегалактических туманностей среднюю оптическую толщину одного поглощающего облака, производящего общее галактическое поглощение.

Для исключения эффекта галактической широты, т. е. среднего поглощения на данной параллели, мы будем при этом заниматься флюктуациями чисел галактик на одной и той же галактической параллели, тем самым освобождаясь от необходимости учета эффекта широты и умножения всех чисел на множители большие единицы.

§ 1. Как известно, при Гауссовском распределении отклонений между средним логарифмом числа туманностей и логарифмом среднего числа \bar{N} , имеет место соотношение:⁹

$$\log \bar{N} = \overline{\log N} + 1.152\sigma^2,$$

где σ — дисперсия величины $\log N$.

Таким образом, разность $\log \bar{N} - \overline{\log N}$ характеризует дисперсию. Мы вычисляли эту разность для ряда галактических параллелей, используя для этой цели площадки, называемые Hubble'ом Survey Fields. Результаты приведены в табл. I. В ней β означает галактическую широту, а n — число площадок на данной галактической параллели. Мы видим, что разность $\log \bar{N} - \overline{\log N}$, а, следовательно, и дисперсия сильно возрастает по мере уменьшения галактической широты.

ТАБЛИЦА I TABLE

β	n	$\log \bar{N} - \overline{\log N}$	Среднее Mean
+70°	18	+0.033	+0.027
+60°	36	32	
+55°	35*	21	
+50°	36	21	
+45°	36	+0.028	+0.037
-45°	20	38	
+40°	36	37	
-40°	21	44	
+35°	36	+0.076	+0.065
-35°	21	70	
+30°	33	69	
-30°	23	43	
+25°	31	69	
-25°	21**	60	

* Одна площадка ($\lambda=10^\circ$; $\beta=+55^\circ$), содержащая скопление галактик, опущена.

** Одна площадка, не содержащая ни одной внешней галактики, опущена.

Это является весьма убедительным аргументом в пользу того, что причина флюктуаций лежит в основном в нашей галактике, а не в тенденции галактик к скучиванию или в ошибках подсчетов.

Мы приходили неминуемо к выводу, что флюктуации в $\log N$ обусловлены, главным образом, колебаниями в галактическом поглощении на данной галактической параллели.

Правда, небольшой источник возрастания дисперсии $\log N$ должен заключаться в том, что, вследствие возрастания среднего поглощения при уменьшении галактической широты, убывает само среднее значение $\log N$.

Поэтому относительная величина флуктуаций, т. е. $\frac{\Delta N}{N}$ или $\overline{\Delta \log N}$ (или σ) возрастает. Но, как показывает вычисление, это должно было бы обусловить возрастание разности $\log \bar{N} - \log N$ при переходе от зоны $50-70^\circ$ к зоне $25-35^\circ$ в лучшем случае только в 1.4 раза, а не в 2.5 раз, как наблюдается на самом деле. Кроме того, при случайном характере флуктуаций сами разности должны были бы быть гораздо меньше.

§ 2. Обозначим через s среднее поперечное сечение каждой неосвещенной поглощающей туманности в нашей галактике, через $\nu(\chi)$ — концентрацию этих неосвещенных туманностей в единице объема на расстоянии χ от галактической плоскости. Пусть далее τ будет средняя оптическая толщина каждой темной туманности, выраженная в звездных величинах. Тогда среднее поглощение в направлении вблизи полюса галактики будет

$$\overline{\Delta m(90^\circ)} = \tau s \int_0^\infty \nu(\chi) d\chi = \bar{k}\tau,$$

где величина

$$\bar{k} = s \int_0^\infty \nu(\chi) d\chi$$

представляет среднее число туманностей на пути луча. В общем случае на галактической широте β будем иметь среднее поглощение

$$\overline{\Delta m(\beta)} = \bar{k}\tau \sec \beta$$

Реальное поглощение на параллели β в различных долготам, вследствие флуктуаций числа темных туманностей, будет колебаться около этой величины. Обозначим его через

$$\Delta m(\beta) = k(\beta)\tau,$$

где $k(\beta)$ — реальное (а не среднее) число неосвещенных туманностей на пути луча.

При наличии поглощения Δm число внегалактических туманностей до 20^m (предел Hubble'a) на 1 кв. гр., если пренебречь статистическими флуктуациями самих внегалактических туманностей, будет выражаться формулой

$$\log N = \log N_0 - 0.6 \Delta m$$

Усредняя по всем долготам, получаем для данной широты:

$$\overline{\log N} = \log N_0 - 0.6 \overline{\Delta m(\beta)} \quad (1)$$

Таким образом, $\overline{\log N}$ зависит только от среднего поглощения и в него не входит оптическая толщина каждой поглощающей туманности в отдельности.

Вычислим теперь, чему должен быть равен $\log \overline{N}$. Мы имеем:

$$\overline{N} = \sum p(k) N_0 \cdot 10^{-0.6 k\tau},$$

где $p(k)$ есть вероятность того, что на пути луча в данном направлении встретится k поглощающих туманностей.

По формуле Poisson'a имеем

$$p(k) = \frac{(\bar{k})^k e^{-\bar{k}}}{k!},$$

где \bar{k} , попрежнему, — среднее значение числа темных облаков на пути луча.

Поэтому

$$\overline{N} = e^{-\bar{k}} N_0 \sum_k \frac{(\bar{k})^k}{k!} 10^{-0.6 k\tau}$$

Проведя суммирование, получаем:

$$\overline{N} = N_0 e^{-\bar{k}} e^{\bar{k} 10^{-0.6\tau}} \quad e^{\bar{k} \cdot 10^{-0.6\tau}}$$

или

$$\log \overline{N} = \log N_0 - \bar{k} \log e + \bar{k} 10^{-0.6\tau} \log e \quad (2)$$

Считая, что τ меньше единицы, мы можем приближенно написать разложение

$$10^{-0.6\tau} = 1 - \frac{0.6}{\log e} \tau + \frac{0.18}{(\log e)^2} \tau^2 - \dots \quad (3)$$

Подставляя его в (2), находим с точностью до величины второго порядка по отношению к τ :

$$\log \overline{N} = \log N_0 - 0.6 \bar{k} \tau + \frac{0.18}{\log e} \bar{k} \tau^2$$

С другой стороны, формулу для $\overline{\log N}$ мы можем переписать в виде:

$$\overline{\log N} = \log N_0 - 0.6 \bar{k} \tau,$$

так как

$$\overline{\Delta m} = \bar{k} \tau$$

В результате для искомой разности мы имеем

$$\log \bar{N} - \overline{\log N} = \frac{0.18}{\log e} k \tau^2 = \frac{0.18}{\log e} \Delta m \tau$$

Для Δm мы имеем из изучения изменения $\overline{\log N}$ с β выражение

$$\Delta m = 0.25 \operatorname{cosec} \beta \quad (4)$$

Поэтому окончательно

$$\log \bar{N} - \overline{\log N} = 0.105 \tau \operatorname{cosec} \beta \quad (5)$$

Таким образом, разность $\log \bar{N} - \overline{\log N}$ определяется средней оптической толщиной τ каждого отдельного поглощающего облака.

Мы видим, кроме того, что эта разность должна возрастать при приближении к галактическому экватору.

Определяя из наблюдения разность $\log \bar{N} - \overline{\log N}$ для разных галактических параллелей, мы можем, на основании формулы (5), определить τ .

Результаты определения величины τ по площадкам, расположенным на разных галактических параллелях, даются в табл. II.

ТАБЛИЦА II TABLE

β	n	τ
		m
-25°	21	0.24
$+25^\circ$	31	.28
-30°	23	.20
$+30^\circ$	33	.33
-35°	21	.38
$+35^\circ$	36	.41
-40°	21	.27
$+40^\circ$	36	.23
-45°	20	.26
$+45^\circ$	36	.19

Среднее = 0.274
Mean

В среднем получаем из разных определений

$$\tau = 0^m 274.$$

Полученное число хорошо сходится со значением, полученным нами прежде¹⁰. Однако, нужно заметить, что окончательное значение зависит от того, что мы в формуле (4) приняли, согласно Hubble'у, что среднее поглощение в направлении галактического полюса порядка $0^m 25$. Если, согласно Mineu'у¹¹, принять меньшее значение для коэффициента при $\operatorname{cosec} \beta$ в (4), то значение τ увеличится.

Наконец, следует принять во внимание, что полученное значение τ характеризует лишь среднюю оптическую толщину неосвещенных туманностей. Что же касается до отдельных конкретных туманностей, то оптическая толщина их может отличаться от средней цифры, повидимому, довольно сильно.

Август, 1939.

Литература: Literature:

- | | |
|--|---|
| 1. Bull. Abast. Obs. 2, p. 37, 1938. | 6. Mt. Wils. Contr. 485, 1934. |
| 2. Н. А. 105, p. 359, 1939. | 7. Н. В. 895, 1934. |
| 3. Zs. f. Aph. 17, p. 170, 1939. | 8. P. A. S. P. 50, p. 275, 1938. |
| 4. Zs. f. Aph. 17, p. 285, 1939. | 9. Hubble, The Realm of the Nebulae, p. 75, 1937. |
| 5. Bull. Astr. Inst. Netherlands. 8, p. 245, 1938. | 10. Bull. Abast. Obs. 2, p. 37, 1938. |
| | 11. Ann. d'Astroph. 1, p. 32, 1938. |

FLUCTUATIONS IN THE NUMBER OF EXTRAGALACTIC NEBULAE AND THE GALACTIC ABSORPTION

V. A. AMBARZUMIAN

(Summary)

The earlier investigations of the cosmic absorption problem have shown that in our galaxy the absorbing layer has a rather complicated and irregular structure.

In a statistical research of diffuse nebulae the author in collaboration with Sh. G ordeladse¹ has shown that there is no genetic relation between diffuse nebulae and illuminating stars and the conclusion was suggested that a multitude of «unilluminated» nebulae is irregularly distributed in the space causing space absorption. It was also shown that these unilluminated nebulae absorb approximately one magnitude per kiloparsec and the absorption by each nebula was estimated as reaching 0.3 ph. mg.

Greenstein came independently to the conclusion that the general cosmic absorption results from the combined absorption effect of a multitude of absorbing clouds². But he estimated the mean value of the optical thickness of each cloud as being $0^{m.11}$. Kreiken³ has given 1^m as the value of the optical thickness of each cloud. Becker⁴, when investigating the selective absorption in some directions, has found it necessary to attribute it to separate clouds situated at different distances from us. He derived the value of color-excess for the cosmic cloud and has found it to be $0^{m.4}$ or $0^{m.3}$.

It is assumed that the absorption in photographic rays exceeds twice the value of the color-excess; therefore basing the mentioned data given by Becker one might suppose that the optical thickness of each cloud in photographic rays is $0^m.2$ or $0^m.6$. Oort⁵ has shown that the ratio of photographic absorption to the selective one is of the order of 5, hence the data of Becker give for the value of the optical thickness of the cloud $0^m.5$ or $2^m.0$.

Such a diversity in the estimations of the optical thickness of dark cosmic clouds shows the necessity of an investigation of this question with the help of a new method.

The analysis of the counts of extragalactic nebulae may serve as such a method.

It is well known that the fluctuations in the number of extragalactic nebulae cannot be regarded as accidental. Therefore the great value of these fluctuations can be explained either by the combined effect of an accumulation of galaxies or by the very fluctuations in the galactic absorption.

We suppose however that the Virgo Cluster type accumulations of nebulae influencing the distribution of the bright galaxies cannot change the visible distribution of faint ones which are included mainly in the Hubble's counts.

As a matter of fact for the fainter galaxies we have the greater ratios of distances to the linear diameters of the cluster of galaxies. Therefore in spite of the lower density of the general field of galaxies, beginning with a definite moment, the number of galaxies visible in the direction of the given cluster will greatly exceed the number of the members of the cluster.

The objection may be raised that the number of clusters of galaxies can be so great that the ray passes through a great number of the clusters of galaxies. But in this case the plurality of these clusters will be the cause of diminution of fluctuations in the number of galaxies.

The author demonstrates that the main cause of great fluctuations in the visible density of the number of extragalactic nebulae are the fluctuations in galactic absorption.

The mean value of the optical thickness of one cloud causing the general galactic absorption is derived from the fluctuations in the number of extragalactic nebulae.

In order to eliminate the latitude effect the fluctuations in the number of galaxies are considered at one and the same galactic parallel.

It is easy to demonstrate that the difference $\log \overline{N} - \overline{\log N}$, where $\log \overline{N}$ is the logarithm of the average number, characterises the dispersion. The values of this difference derived by the author are given in the Table I, where β means the galactic latitude and n —the number of areas at the given galactic parallel. The difference $\log \overline{N} - \overline{\log N}$ and, consequently, the dispersion

increases with the decrease of the galactic latitude. This fact indicates that the cause of fluctuations lies in our galaxy and not in the tendency of galaxies to the accumulations or in the errors of the counts.

Let us denote the average cross section of each unilluminated absorbing nebula in our galaxy by s and the concentration of these nebulae in the unit of volume at a distance of z from the galactic plane—by $\nu(z)$. If τ is the average optical thickness of one dark nebula expressed in stellar magnitudes, the mean value of the absorption in the direction of the galactic pole will be

$$\overline{\Delta m(90^\circ)} = \tau s \int_0^\infty \nu(z) dz = \bar{k}\tau,$$

where

$$\bar{k} = s \int_0^\infty \nu(z) dz$$

represents the mean number of nebulae on the way of the rays.

In the general case the average absorption at the galactic latitude β will be

$$\overline{\Delta m(\beta)} = \bar{k}\tau \sec \beta.$$

The real absorption at latitude β for different longitudes will vary owing to the fluctuations in the number of dark nebulae. Let us denote it by

$$\Delta m(\beta) = k(\beta) \tau,$$

where $k(\beta)$ is the real number of unilluminated nebulae on the way of the rays.

Δm being the existing absorption, the number of extragalactic nebulae down to 20^m (the limit of Hubble) at the surface of 1 square degree will be expressed by

$$\log N = \log N_0 - 0.6 \Delta m.$$

Taking it for different longitudes we receive for the given latitude (1). Thus $\log \bar{N}$ depends upon the average absorption only. For $\log \bar{N}$ we obtain (2).

Assuming that τ is less than 1, we may write (3). Using certain substitutions it is easy to obtain (5), which shows that the difference $\log \bar{N} - \log N$ is determined by the average optical thickness of individual absorbing cloud. Besides, it is seen, that this difference increases with the approach the galactic equator.

But deriving the difference $\log \bar{N} - \overline{\log N}$ according to the observational data we can determine the values of τ by using the formula (5). The values of τ for different galactic latitudes are listed in the table II. The mean value of τ is $0^{\text{m}}274$, which corresponds to the value obtained earlier¹⁰. But it is necessary to note that this value τ characterises only the average optical thickness of unilluminated nebulae; separate nebulae may have quite different values for the optical thickness.

August, 1939.