

О КЛОЧКОВОЙ СТРУКТУРЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО СЛОЯ*

Более десяти лет назад с несомненностью выявилось, что межзвездная поглощающая среда имеет очень нерегулярную, клочковатую структуру. В течение последних лет мы в Советском Союзе выполнили некоторую работу с целью более детального изучения структуры системы поглощающих облаков и получения некоторых числовых параметров, описывающих это разнообразие облаков.

Первый вопрос, требующий ответа, следующий: известно, что каждая светлая диффузная туманность, как правило, освещается некоторой звездой высокой светимости. Связаны эти звезды и соответствующие туманности генетически и динамически или эта связь случайная, обусловленная случайной встречей звезды и туманности во время их галактического движения, после которой они снова расходятся?

Чтобы ответить на этот вопрос, было решено сравнить с наблюдениями один весьма важный вывод, получаемый из гипотезы о случайной встрече.

Ясно, что каждая звезда может освещать вокруг себя только сферу определенного радиуса, в том смысле, что облако, расположенное внутри этой сферы, достигнет достаточного освещения, чтобы быть видимым, как яркая диффузная туманность. Очевидно, что радиус такой сферы будет пропорционален квадратному корню из светимости звезды.

Возьмем определенный объем V галактического пространства. В этом объеме будут наблюдаться звезды различных спектральных типов и светимостей. Представим себе сферы, освещаемые этими звездами. Зная функцию светимости и звездную плотность для каждого

* On the Patchy Structure of the Interstellar Absorbing Layer. Transactions of IAU, Vol. VII, 452, 1950. Статья представляет собой доклад, прочитанный на съезде Международного Астрономического Союза в Цюрихе 17 августа 1948 г. *Ред.*

спектрального класса, мы можем немедленно получить суммарный объем, освещаемый звездами каждого спектрального типа

$$O, B0, B1, B2-9, A, F, G, K, M.$$

В случае случайной связи туманностей с освещающими звездами, вероятность для любого облака быть освещаемым звездой некоторого типа, скажем типа А, будет равна полной сумме объемов, освещаемых всеми звездами типа А внутри рассматриваемого объема, деленной на весь объем V .

Мы в состоянии вычислить все эти вероятности. Если гипотеза о случайной встрече верна, тогда числа туманностей, освещаемых звездами различных типов, должны быть пропорциональны соответствующим вероятностям.

Сравнение вычисленных вероятностей с наблюдаемыми числами диффузных туманностей, освещаемых звездами различных типов, показало очень тесную пропорциональность. Поэтому мы можем заключить, что гипотеза о случайной встрече должна быть принята.

Эти соображения ведут также к другому важному последствию. Легко показать, что звезды всех типов вместе освещают только $1/2000$ объема межзвездного пространства. Это означает, что туманность имеет вероятность около $1/2000$ быть освещаемой. Отсюда непосредственно следует, что число всех облаков в доступной для наших наблюдений части Галактики почти в 2000 раз больше числа ярких диффузных туманностей.

Следуя этому ходу рассуждений, мы установили, что число космических облаков в 1 пс^3

$$n \cong 1/10\,000.$$

Если τ среднее поперечное сечение туманности, то число облаков, пересекаемых лучом вдоль пути l , будет равно $ln\tau$.

Если, далее, ε_0 средняя оптическая толщина, выраженная в звездных величинах, то полное поглощение, вызванное этими облаками, будет:

$$\Delta m = ln\varepsilon_0 = al,$$

где a среднее поглощение на парсек.

Из общих данных о космическом поглощении мы знаем величину a (фотографическую или визуальную) и порядок величины поперечного сечения τ .

Поэтому, если мы предполагаем, что межзвездное поглощение в целом вызвано нашей системой облаков (или темных туманностей), мы можем вывести величину ε_0 .

Первое и очень грубое определение ε_0 показало, что она порядка $0^m 2$ или $0^m 3$ в фотографической области. Было ясно, что эта величина не находится в противоречии с нашими представлениями о средней прозрачности диффузных туманностей.

Было заключено, что поглощающий слой состоит из большого числа дискретных облаков, которые малы по сравнению с расстояниями между ними. Однако было желательным иметь другой, независимый и более точный, метод для определения ε_0 .

Подсчеты внегалактических туманностей, выполненные проф. Шэпли и д-ром Хабблом, привели к выводу, что числа туманностей ярче определенной величины на квадратный градус показывают значительные флуктуации. Мы показали, что даже для данной галактической широты эти флуктуации далеко превышают случайные флуктуации согласно закону Пуассона. На первый взгляд кажется, что это может быть приписано тенденции к сгущиванию, которая, конечно, существует и важность которой была подчеркнута Шэпли.

Однако только тенденция к сгущиванию не в состоянии объяснить главную часть флуктуаций. Это, в частности, ясно из следующего доказательства: когда мы разбиваем все небо на зоны по галактическим широтам и определяем флуктуации отдельно для каждой из этих зон, то относительная величина этих флуктуаций возрастает с убыванием галактической широты зоны.

Очевидно, однако, что случайные флуктуации в числах галактических поглощающих облаков на пути света, приходящего из различных внегалактических туманностей, будут вызывать дополнительные флуктуации в числах туманностей.

Остается теоретически исследовать, как эти флуктуации зависят от галактической широты b .

Имея эту цель в виду, вычислим:

$$(\overline{N_m - \bar{N}_m})^2 = \overline{N_m^2} - \bar{N}_m^2,$$

где N_m число туманностей ярче некоторой величины m на квадратный градус. Это число N_m в отсутствии поглощения должно быть равным

$$N_m = N_0 10^{0.6m}.$$

Прозрачность облака есть $q = 10^{-0.4\varepsilon_0}$. Поэтому n облаков по лучу зрения ослабляют яркость туманностей в q^n раз. Наблюдаемое число туманностей, следовательно, должно быть

$$N_m = N_0 \cdot 10^{0.6(m - n\varepsilon_0)} = N_0 \cdot 10^{0.6m} q^{\frac{3}{2}n}.$$

Задача вычисления $\overline{N_m}$, таким образом, была сведена к вычислению $q^{\frac{3}{2}n}$. В то же время вычисление $\overline{N_m^2}$ было сведено к вычислению $\overline{q^3}$. Используя закон Пуассона для вероятности числа n , мы имеем после некоторых преобразований:

$$\overline{N_m} = N_0 \cdot 10^{0.6m} e^{-n_b \left(1 - q^{\frac{3}{2}}\right)}.$$

Здесь n_b — среднее число поглощающих облаков, пересекаемых лучом зрения на широте b .

В случае плоско-параллельных слоев облаков мы имеем:

$$n_b = n_{\pi/2} \operatorname{cosec} b.$$

Таким же путем получаем

$$\overline{N_m^2} = N_0^2 10^{1.2m} e^{-n_b (1 - q^3)}$$

$$\frac{(\overline{N_m} - \overline{N_m})^2}{\overline{N_m^2}} = e^{n_b (1 - q^{\frac{3}{2}})^2} - 1 = e^{n_{\pi/2} \operatorname{cosec} b (1 - q^{\frac{3}{2}})^2} - 1. \quad (1)$$

С другой стороны, мы имеем:

$$\tau_{\pi/2} = n_{\pi/2} \varepsilon_0, \quad (2)$$

где $\tau_{\pi/2}$ — оптическая полутолща галактического поглощающего слоя в направлении, перпендикулярном галактической плоскости. Согласно последнему определению Паренаго, $\tau_{\pi/2} = 0^m 32$.

Уравнения (1) и (2) определяют $n_{\pi/2}$ и ε_0 . Используя подсчеты Шэпли и Хаббла, мы вычислили значения

$$\frac{(\overline{N_m} - \overline{N_m})^2}{\overline{N_m^2}}$$

для различных широт и получили величину ε_0 порядка $0^m 25$.

Не следует забывать, что необходимо ввести поправку за дисперсию предельных величин различных пластинок и за другие наблюдательные условия. Эта поправка является отчасти неопределенной. Однако, тем не менее, несомненно, что ε_0 заключена между

$$0^m 20 < \varepsilon_0 < 0^m 30.$$

Из (2) ясно, что $n_{\pi/2}$ должно быть порядка единицы.

Проф. Кукаркин определил дисперсию фотоэлектрических избытков цвета внегалактических туманностей на различных широтах и

оттуда получил непосредственно средний избыток цвета одного отдельного облака равным $0^m 05$. Умножая эту величину на соответствующий множитель, он нашел для оптической толщи одного облака приближенное значение

$$\varepsilon_0 = 0^m 27.$$

Б. Е. Маркарян из Бюраканской обсерватории определил величину ε_0 из сравнения наблюдаемых флуктуаций в числах звезд, подсчитанных на низких широтах, с теорией флуктуаций чисел звезд на этих широтах, основанной на описанной выше модели слоя облаков. Его теория содержит слишком много алгебраических выкладок, чтобы быть приведенной здесь. Он получил тоже $\varepsilon_0 \cong 0^m 25$.

Мы можем заключить, что ε_0 действительно этого порядка, хотя не исключаем, что величина ε_0 может изменяться в различных областях нашей Галактики.

Теория флуктуаций суммарных яркостей звезд, содержащихся в квадратном градусе на галактическом экваторе, может принять очень простую и изящную форму. Функция распределения этой величины, которая есть не что иное, как интенсивность звездного компонента излучения Млечного Пути, удовлетворяет определенному функциональному уравнению.

При выводе этого уравнения я использовал принцип инвариантности, подобный принципу, введенному мною в теорию диффузного отражения от плоско-параллельных слоев. Точнее, мы использовали тот факт, что функция распределения остается неизменной, когда наблюдатель перемещается на расстояние Δr вдоль луча зрения.

Принцип дает следующее функциональное уравнение:

$$\Phi'(I) + \Phi(I) = \frac{1}{q} \Phi\left(\frac{I}{q}\right), \quad (3)$$

для функции распределения, когда I измеряется в некоторых удобных единицах.

Из уравнения (3) для среднеквадратичного отклонения интенсивности легко получить

$$\frac{(I - \bar{I})^2}{\bar{I}^2} = \frac{1 - q}{1 + q}. \quad (4)$$

К несчастью, мы не имеем в нашем распоряжении достаточного числа определений I в различных точках Млечного Пути, чтобы проверить решение уравнения (3) и формулу (4).

Несколько лет назад академик Шайн обратил внимание на слишком слабую корреляцию между избытками цвета В и О-звезд по оп-

ределениям Стеббинса и его сотрудников и яркостями соответствующих областей Млечного Пути.

Теория облакообразной структуры поглощающего слоя сразу объясняет это явление. Звезды списка Стеббинса имеют среднее расстояние около 1000 *парсек*, в то время как флуктуации яркости Млечного Пути вызваны, главным образом, облаками, находящимися на расстояниях 200—500 *парсек*.

Поэтому очертания облаков, ответственных за эти два явления, совершенно различны и корреляция должна быть слабой.

Рассматриваемая проблема связана также с газовыми облаками. При предположении, что межзвездный газ также имеет такую клочковатую структуру, д-р Мельников проанализировал кривую роста для межзвездных линий и получил дисперсию скоростей газовых облаков порядка 8 *км/сек*.

Д-р Лайман Спитцер рассказал мне, что данные В. С. Адамса о расщеплении межзвездных линий на несколько компонентов приводят к числу газовых облаков, пересекаемых лучом зрения, равному числу пылевых облаков, вычисленному из нашей теории. Он, следовательно, отождествляет две системы облаков. Из этого отождествления следует, что облака межзвездного газа должны быть сравнительно малых размеров (около 8—10 *парсек* в диаметре). Очень важно доказать этот вывод наблюдениями.

В связи с проблемой, рассмотренной в этом кратком отчете, большое количество наблюдательных работ выполняется в Абастуманской обсерватории под руководством д-ра Харадзе. Определяются показатели цвета многих тысяч звезд в избранных площадках, так же как и цвета многих внегалактических туманностей.

Однако для дальнейшего изучения структуры галактического поглощающего слоя очень важными должны быть фотоэлектрические данные о показателях цвета внешних галактик.

Бюраканская обсерватория, близ Еревана,
Армения, СССР

О б с у ж д е н и е

Л. Спитцер (младший) отмечает, что очень важная работа, изложенная Амбарцумяном, разъяснила две основные проблемы в изучении межзвездной материи. Во-первых, отношение избирательного поглощения к общему, найденное из изучения внешних галактик, то же самое, что было получено многими специалистами для темной материи в галактической плоскости. Это устраняет противоречие, найденное

Стеббинсом некоторое время назад и подчеркнутое Сирсом. Во-вторых, близкое согласие между числом темных облаков на килопарсек, найденном Амбарцумяном тремя совершенно независимыми методами, и соответствующим числом газовых облаков на килопарсек, указанном наблюдениями Адамса, дает дополнительное подтверждение в пользу картины малых, отдельных, беспорядочно распределенных облаков газа и твердых частиц. Эта картина находится в заметном контрасте с прежней картиной об однородной межзвездной среде. Спитцер заключает, что в первом приближении средние характеристики межзвездных облаков — размеры, разделение и общая природа — теперь начинают быть хорошо установленными.