

ON THE APPLICATION TO THE ABSORPTION CALCULATION OF THE
EMPIRICAL LAW OF THE ABSORBING MEDIUM DENSITY
DISTRIBUTION NORMALLY TO THE GALACTIC PLANE

A. PH. TORONJADZE

(Summary)

The possibility of using empirical curves of distribution of absorbing medium density perpendicularly to the galactic plane for the construction of nomograms in order to calculate the absorption is shown. According to the data given in the paper [4] the above mentioned curve is constructed and represented in the form of the table II. The nomograms could be constructed on the base of the system (15) according to the rules described in [2]. The data of the table III could be used for the construction of one nomogram curve.

December, 1957.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паренаго П. П. О темных туманностях и о поглощении света в Галактике. Астрон. Журн. 1945, 22, № 3.
2. Торонджадзе А. Ф. Номограммы и счетная линейка для определения величины поглощения. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс. 1959, 24, 109.
3. Харадзе Е. К. Каталог показателей цвета 14000 звезд и исследование поглощения света в Галактике на основе цветовых избытков звезд. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс., 1952, 12.
4. Торонджадзе А. Ф. Исправленные значения величин поглощения в 43-х Площадках Каптейна. Сообщ. АН Грузинской ССР. 1959, 22, № 1.
5. Торонджадзе А. Ф. Исследование зависимости от избытка цвета множителя переводящего избирательное поглощение в полное. I. Астрон. Журн. 1958, 35, № 1.
6. Торонджадзе А. Ф. Исследование зависимости от избытка цвета множителя переводящего избирательное поглощение в полное. II. Астрон. Журн. 1958, 35, № 4.

О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТЕЙ ПОГЛОЩАЮЩЕГО
ВЕЩЕСТВА ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО ГАЛАКТИЧЕСКОЙ
ПЛОСКОСТИ

А. Ф. ТОРОНДЖАДЗЕ

Данные о величинах межзвездного поглощения в различных направлениях предоставляют возможность исследования закономерностей распределения поглощающего вещества в Галактике. Общий анализ вопроса о закономерностях распределения поглощающего вещества в Галактике достаточно труден, так как требует решения основных уравнений динамики звездных систем с достаточным детальным учетом взаимодействия всех составляющих Галактики.

Однако при некоторых упрощающих допущениях возможно учесть основные факторы, обуславливающие наблюдаемое распределение плотностей и, таким образом, составить некоторое представление о путях эволюции поглощающего вещества в Галактике. Наиболее подходящим путем для анализа является изучение закономерностей распределения плотностей перпендикулярно галактической плоскости. В этом случае имеется возможность сравнения теоретических заключений с данными наблюдений.

Для анализа распределения плотностей перпендикулярно галактической плоскости обычно используется т. н. барометрический закон

$$\delta(z) = \delta(0) e^{-\frac{|z|}{\beta}}, \quad (1)$$

где z расстояние от плоскости Галактики, $\delta(z)$ — плотность поглощающего вещества в точке z , $\delta(0)$ — значение плотности при $z=0$, β — некоторая постоянная величина.

Использование формулы (1) предполагает, что на поглощающие туманности (поглощающие частицы, поглощающие облака) действует независимое от z гравитационное поле и, что уже установлено равновесное состояние в распределении поглощающего вещества.

Следует заметить, что допущение о независимости от силы, действующей на туманности не является достаточно хорошим приближением к действительности. Гораздо правильнее допустить, что на поглощающие туманности действует упругая сила, пропорциональная z :

$$F = -\alpha z, \quad (2)$$

где α некоторый коэффициент. С другой стороны, предположение об установлении равновесного состояния в распределении плотностей по z — координате противоречит многим, достаточно убедительным соображениям относительно закономерностей эволюции поглощающего вещества в

Галактике. Одним из таких соображений является то, что количество поглощающего вещества в Галактике с течением времени должно уменьшаться, в основном, вследствие превращения диффузного вещества в звезды и звездные группы. В настоящую эпоху процесс образования звезд в Галактике протекает достаточно интенсивно, что делает невозможным осуществление условий, обеспечивающих распределение плотностей согласно закону (1). Далее, исходя, так же, из совершенно общих современных взглядов о путях развития Галактик, можно предположить, что после истечения некоторого промежутка времени Галактика превратится в систему, не содержащую поглощающего вещества.

По нашему мнению, формулы, предназначенные для анализа закономерностей распределения поглощающего вещества в Галактике, должны быть получены с учетом указанных выше обстоятельств. Мы предположим следующее.

1. Галактика является стационарной системой с симметрией относительно плоскости. Это допущение для начальной эпохи существования Галактики несправедливо. Поэтому наше дальнейшее рассмотрение нами вопроса правильно, в общих чертах, если за начальный момент нашего анализа возьмем момент, когда основная масса диффузного вещества уже перешла в состояние звезд, т. е. Галактика, в основном, приняла современный вид.

2. Справедливо исследование закономерностей распределения по z — координате независимо от других пространственных координат.

3. На поглощающие туманности (частицы) действует регулярная упругая сила, пропорциональная z —

$$F = -\alpha z.$$

4. На поглощающие туманности (частицы) действуют силы случайного характера, вызываемые случайными прохождениями около туманностей звезд, звездных групп и других туманностей. Соответственно этому, характер движения поглощающих туманностей (частиц) можно считать аналогичным движению броуновских частиц и для описания этих движений применить обычные диффузионные уравнения. В частности, для нашего случая, возможно использование т. н. уравнения Смолуховского [1].

5. В некоторый момент t , который мы принимаем за начальный (т. е. $t=0$), поглощающее вещество было распределено по закону

$$f(z_0) = \frac{c}{\sqrt{\pi}} e^{-c^2 z_0^2}, \quad (3)$$

где $f(z_0)$ — вероятность нахождения поглощающей туманности (частицы) в интервале $(z_0, z_0 + dz_0)$ в момент $t = t_1 = 0$.

6. В плоскости $z=0$ происходит непрерывное превращение поглощающего вещества в звезды т. е. происходит непрерывное уменьшение количества поглощающих частиц. Причем, предположим, что уменьшение количества частиц происходит пропорционально плотности

$$\Delta \delta(z, t) = -k \delta(z, t); \quad (4)$$

k — коэффициент пропорциональности.

7. В любой точке z происходит непрерывное изменение количества поглощающих туманностей вследствие их столкновений. Это изменение так же принимается пропорциональным количеству частиц в данной точке

$$\Delta \delta(z, t) = -\lambda \delta(z, t); \quad (5)$$

— коэффициент пропорциональности.

Ясно, что наши предположения не являются совершенно строгими и единственно возможными, но мы полагаем, что они учитывают основные факторы, способные влиять на распределение плотности и достаточно хорошо согласуются с наблюдательными данными. В 6) и 7) мы ничего не говорили об образовании поглощающих частиц из других видов вещества (звезды, газ) так как этот процесс, вызывающий изменение величины k и λ , учитывается в (4) и (5).

Обозначим $w(z, t)$ вероятность того, что поглощающая частица в момент t находится в интервале $(z, z + dz)$. Ясно, что $w(z, t)$ пропорционально плотности. Если не принимаются во внимание 6) и 7), то для w будем иметь уравнение

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \gamma z \frac{\partial w}{\partial z} + \gamma w, \quad (6)$$

где D и γ некоторые постоянные. Если дополнительно учитывается 7), т. е. количество частиц в каждой точке дополнительно изменяется пропорционально плотности, тогда для w будем иметь уравнение

$$\frac{\partial w}{\partial t} = D \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \gamma z \frac{\partial w}{\partial z} + (\gamma - \lambda) w. \quad (7)$$

Если решение (6) является w_0 , то решение (7) дается выражением

$$w(z, t) = e^{-\lambda t} w_0(z, t), \quad (8)$$

но решение (6) общеизвестно и дается формулой

$$w_0 = \frac{b}{\sqrt{\pi}} e^{-b^2 (z - z_0 e^{-\gamma t})^2}, \quad (9)$$

где

$$b = \frac{b_0}{\sqrt{1 - e^{-2\gamma t}}}, \quad b_0^2 = \frac{\gamma}{2D}.$$

(9) дает вероятность нахождения частицы в момент t в интервале $(z, z + dz)$, если она в $t=0$ находилась в точке $z = z_0$.

Если начало координат сместим в точку $z = z_0$, т. е. введем новую систему $z' = z - z_0$, получим

$$w_0(z', t, 0) = \frac{b}{\sqrt{\pi}} e^{-b^2 (z' + z_0 - z_0 e^{-\gamma t})^2}. \quad (10)$$

Для учета 6), т. е. превращения поглощающих частиц в звезды в плоскости Галактики, допустим, что в системе z' в нулевой точке находится частица в момент $t=0$, а в точке $z' = -z_0$ находится частично отражающая граница (эластичная граница). При начальном симметричном распределении частиц относительно плоскости $z=0$ мож-

но предположить, что частицы, расположенные по различные стороны плоскости симметрии, не пересекают эту плоскость, а отражаются от нее. Очевидно, что с точки зрения анализа распределения плотностей при начальном симметричном распределении частиц, предположение о существовании отражающей границы, совпадающей с плоскостью симметрии, равносильно реальному отсутствию такой границы. По этому симметрии, равносильно реальному отсутствию такой границы. По этому возможно рассмотреть по отдельности распределение частиц вдоль полуосей $(-\infty, 0)$, $(0, +\infty)$ при наличии отражающей границы. В таком случае уменьшение количества частиц в плоскости Галактики вследствие превращения поглощающего вещества в другие виды вещества можно описать как частичное поглощение частиц (частичное отражение). Используя известные зависимости, полученные для случайных блужданий в присутствии отражающей и поглощающей границы [1], можно написать

$$w(z', t, -z_0) = w(z', t) + (1-k)w(-2z_0 - z', t) - kw(-2z_0 - z', t), \quad (11)$$

где $w^0(z', t, -z)$ — вероятность нахождения частицы в момент t в точке Z' , если она в $t=0$ находилась в точке $z'=0$ при наличии частично отражающей границы в точке $z'=-z_0$. $W^0(z', z)$ и $w(-2z_0 - z', t)$ — соответствующие вероятности в случае отсутствия отражающей границы.

Из (11) вытекает

$$w(z', t, -z_0) = w(z', t) + (1-2k)w(-2z_0 - z', t). \quad (12)$$

Но, согласно (8) и (9)

$$w(z', t) = \frac{be^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi}} e^{-b^2(z'+z-z_0 e^{-\gamma t})^2}. \quad (13)$$

После подстановки (13) в (12) и возвращения к системе $z=z'+z_0$ получим

$$w(z, t, 0) = \frac{be^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi}} e^{-b^2(z-z_0 e^{-\gamma t})^2} + (1-2k) \frac{be^{-\lambda t}}{\sqrt{\pi}} e^{-b^2(z+z_0 e^{-\gamma t})^2}. \quad (14)$$

(14) дает вероятность нахождения частицы в момент t в интервале $z, z+dz$, если она в моменте $t=0$ находилась в точке $z=z$ при наличии частично отражающей границы в точке $t=0$.

Искомое распределение получим интегрированием (14) в пределах $(0, +\infty)$ при весовой функции $f(z_0)$ согласно (3). Опуская некоторые достаточно элементарные преобразования, напишем окончательное выражение

$$w(z, t) = \frac{e^{-\lambda t} h(1-k)}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 z^2} + \frac{e^{-\lambda t} kh}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 z^2} \Phi\left(\frac{hb}{c} e^{-\gamma t} z\right), \quad (15)$$

где $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ — известная функция (интеграл вероятностей)

$$h = \frac{b_0 c}{\sqrt{c^2 + (b_0^2 - c^2) e^{-2\gamma t}}}. \quad (16)$$

Очевидно, что при $t \rightarrow \infty$, $w(z, t) \rightarrow 0$; при $t \rightarrow 0$, $w(z, t) \rightarrow f(z)$. Обозначим $g = \frac{hb}{c} e^{-\gamma t}$, $\mu = \frac{k}{1-k}$ и выразим плотности поглощающего вещества в единицах плотности при $z=0$; получим

$$\delta(z, t) = e^{-h^2 z^2} [1 + \mu \Phi(gz)] \quad (17)$$

Если наблюдатель находится в точке $z=z_0$ и измеряет величину поглощения вдоль оси z до расстояния z от себя, то для величины поглощения будем иметь

$$A(z) = a \int_{z_0}^{z+z_0} e^{-h^2 t^2} [1 + \mu \Phi(gt)] dt, \quad (18)$$

где a — коэффициент поглощения (обратим внимание на то, что в (18) z обозначает расстояние, отсчитанное от точки расположения наблюдателя) (18) может учесть то, что Солнце не находится в плоскости Галактики. До определения постоянных h , g и a пренебрегать этим обстоятельством не следует так как при определенных значениях h , g , a величина поглощения в интервале $(0, z_0)$ может составить значительную долю поглощения в интервале $(0, \infty)$.

На основе применения (18) и данных наблюдений о величине $A(z)$ можно определить численные значения параметров h , g , a .

Не останавливаясь на описании различных способов вычисления h , g , a по наблюдательным данным, укажем, что теоретические величины $A(z)$, вычисленные по формуле (18) достаточно хорошо согласуются с эмпирической кривой зависимости величины поглощения от z , построенной в [2], при следующих значениях параметров: $h=5$, $g=0.3$, $\mu=10$, $a=3.0$ (если расстояние выражено в кпс, а поглощение — в звездных величинах).

Декабрь, 1957.

ON THE LAW OF ABSORBING MEDIUM DENSITY DISTRIBUTION PERPENDICULARLY TO THE GALACTIC PLANE

A. PH. TORONJADZE

(Summary)

The question about the laws of the absorbing matter density distribution perpendicularly to the galactic plane is discussed. For the solution of the problem the equation by Smolukhovsky with some simplification is used. It is stated that the interstellar absorption observations are well represented by the formula (19). A rather good agreement with the empirical curve of the absorption value dependence on [2] is obtained at the following values of parameters: $h=5$, $g=0.3$, $M=10$, $a=3.0$ (when the distances are expressed in kps, and absorption in star magnitudes).

December, 1957.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чандрасекар С. Стохастические проблемы в физике и астрономии, Гос. изд. иностр. лит., М., 1947.
2. Торонджадзе А. Ф. Об использовании эмпирического закона распределения плотностей поглощающего вещества перпендикулярно галактической плоскости для учета поглощения. Бюлл. Абаст. астрофиз. обс. 1959, 24, 117.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
 СКОРОСТЕЙ ДЛЯ ШАРОВЫХ СКОПЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ
 ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА МАКСИМУМА ПРАВДОПОДОБИЯ

Р. М. ДЗИГВАШВИЛИ

Определение параметров функции распределения скоростей различных составляющих имеет важное значение для изучения многих вопросов кинематики и динамики Галактики. Параметры эллипсоида скоростей обычно определяются на основе вычисления моментов скоростей различных порядков. При этом, при вычислении моментов следует пользоваться данными о звездах, расположенных в достаточно малой окрестности рассматриваемой точки Галактики. В случае, когда объекты расположены на больших расстояниях друг от друга, моменты, вычисленные при условии объединения всех объектов в одну группу, не могут характеризовать движение центроидов и распределение скоростей в рассматриваемой точке Галактики и поэтому мало пригодны в качестве характеристик локальных движений этих объектов.

Наиболее подходящим материалом для исследования кинематических закономерностей Галактики являются данные о движениях и расстояниях тех объектов Галактики, которые заполняют достаточно большие пространства с довольно большой пространственной плотностью. В таком случае имеется возможность сгруппировать данные относительно объектов, расположенных в окрестностях различных точек Галактики и вычислить кинематические параметры для каждой отдельной точки. Знание значений указанных параметров для различных точек дает возможность составить представление о характере зависимости кинематических параметров от пространственных координат, что и является наиболее желательным результатом подобных исследований. При современных наблюдательных средствах накопление материала в достаточно больших объемах Галактики требует наблюдения объектов с большой светимостью. Но объекты с большими светимостями обычно распространены в Галактике со сравнительно малыми пространственными плотностями, что значительно затрудняет группирование данных относительно объектов, расположенных в близких окрестностях тех или иных точек Галактики.

Шаровые скопления являются именно такими объектами, которые наблюдаются в весьма большом объеме Галактики и предоставляют возможность исследования зависимости кинематических элементов от пространственных координат. Но малочисленность шаровых скоплений затрудняет группирование данных об объектах, расположенных в окрестностях данной точки Галактики, так как в любой достаточно малый объем попадает слишком малое количество шаровых скоплений, для того чтобы уверенно определить те или иные средние от компонентов движений. Для шаровых скоплений нам известны лучевые скорости и расстояния,