Доклады Академии Наук СССР
1938. Том XIX, № 1—2

АСТРОНОМИЯ

К. Ф. ОГОРОДНИКОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДА ВОЛЬФА ДЛЯ ЗВЕЗДНЫХ ПОДСЧЕТОВ В ТЕМНЫХ ТУМАННОСТЯХ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 28 II 1938)

1. Исследование основного интегрального уравнения звездной статистики Шварцшильда показывает, что метод определения расстояния и величины поглощения по кривым чисел $\log B(m)$ и $\log B'(m)$, предложенный Вольфом, может быть применен лишь в том случае, если, во-первых, толщина туманности ничтожно мала по сравнению с расстоянием до нее и, во-вторых, если дисперсия абсолютных яркостей, входящих в подсчеты звезд, также ничтожно мала. В этом случае поглощение и расстояние определяются по формуле:

$$B'(m) = B(m - \varepsilon) + \varepsilon A(m_0), \tag{1}$$

где $B(m)$ и $B'(m)$ обозначают числа звезд ярче m-й видимой величины на площадках в 1 кв. градус соответственно в нормальной и темной области, ε — поглощение в туманности, выраженное в звездных величинах, и m_0 — видимая величина звезд, соответствующая началу туманности. На практике этот случай соответствует подсчетам в темных «пятнах», т. е. небольших, локальных, резко ограниченных темных туманностях типа «угольных мешков», и притом лишь звезд, отобранных из общего числа по признаку равенства их абсолютной яркости.

2. В случае, если толщина туманности не мала, метод Вольфа оказывается неприменимым. Для рассмотренного случая бесконечно большой туманности, т. е. области, в которой процент звезд, находящихся геометрически внутри объема, занимаемого поглощающим веществом, не мал по сравнению с числом звезд, находящихся впереди или позади туманности, имеет место формула:

$$B'(m) = \left(1 + \frac{3}{4}\alpha\Delta m\right) \cdot B(m - \Delta m). \tag{2}$$

Здесь α есть постоянная, равная $1:5\log_{10}e = 0.4605$, а Δm — поглощение в звездных величинах на расстоянии, соответствующем звездам m-й величины.

На практике этот случай соответствует подсчетам звезд, обладающих одной и той же абсолютной яркостью в темных «облаках», т. е. темных областях, имеющих большую угловую протяженность.

3. При неравенстве нулю дисперсии абсолютных величин звезд необходимо ввести поправки к методу Вольфа за дисперсию.

В случае тонкой туманности формула для определения поглощения и рассеяния имеет вид:

$$B'(m) = B(m-\varepsilon) + \varepsilon A(m) \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\rho_0 - m - M_0}{\sqrt{2}\,\sigma}} e^{-\rho^2}\, d\rho. \tag{3}$$

Здесь кроме уже известных величин имеется: $A(m)$ — число звезд в нормальной области от $m-1$ до m-й величины, σ — дисперсия абсолютных величин, M_0 — средняя абсолютная величина звезд и ρ_0 — логарифмическое расстояние туманности: $\rho_0 = 5 \log r_0$, где r_0 — расстояние до туманности, выраженное в десятках парсеков.

Для случая толстой туманности остается справедливой формула (2), только в этом случае из формулы (2) определяется не само поглощение Δm, а величина $\Delta' m$, связанная с Δm соотношением:

$$\Delta m = \Delta' m\, e^{-\alpha^2 \sigma^2}, \tag{4}$$

где α и σ имеют тот же самый смысл, что и выше. При этом Δm здесь относится к тому расстоянию, которое имели бы звезды, если бы их абсолютные величины были одинаковы и равны M_0.

4. В случае большой дисперсии (например при подсчетах всех звезд вместе, σ равно примерно 6) метод Вольфа оказывается неприменимым вовсе. Из анализа уравнения Шварцшильда вытекает, что расхождение кривых Вольфа здесь в основном зависит именно от характера функции распределения абсолютных величин.

Если предположить, что видимое распределение звездной плотности удовлетворяет закону Зеелигера:

$$D(r) = D_0 r^{-s}$$

или

$$\Delta(\rho) = D_0 e^{-\alpha s \rho},$$

где s — некоторый постоянный коэффициент, то в случае тонкой туманности имеет место приближенная формула:

$$\log B' \left(\frac{A}{B} - \frac{A'}{B'}\right) = \log D_0 \varphi(m - \rho_0) + \log P, \tag{5}$$

где ρ_0 — логарифмическое расстояние туманности, а

$$P = \alpha \omega e^{\alpha(3-s)\rho_0} \cdot \varepsilon.$$

Величина ω здесь обозначает угловые размеры исследуемого участка, а остальные величины — те же, что и выше.

Исследование результатов подсчетов позволяет найти величины s, ρ_0 и ε. Сперва находится s из соотношения, которое должно иметь место в случае закона Зеелигера:

$$B(m) = B_0 e^{\alpha(3-s)m},$$

где B_0 — постоянная. Практически s легко находится из линейного соотношения:

$$\log B(m) = \log B_0 + \frac{3-s}{5} m.$$

Затем строится кривая для $\log B' \left(\frac{A}{B} - \frac{A'}{B'}\right)$ и на нее накладывается нанесенный на кальку график функции $\log D_0 \varphi(M)$ так, чтобы обе кривые совпали по возможности лучше, а оси координат оставались соответственно параллельными. Тогда сдвиг кальки в горизонтальном направлении дает ρ_0, а сдвиг в вертикальном $\log P$. Зная P, легко определяем ε.

В случае толстой туманности (темного облака) имеет место формула:

$$\log B' \left(\frac{A}{B} - \frac{A'}{B'}\right) = \log D_0 \Phi (m - \rho_0) + \log P', \tag{6}$$

где $\Phi(M)$ — интегральная функция распределения абсолютных величин:

$$\Phi(M) = \int_{-\infty}^{M} \varphi(M)\, dM,$$

а

$$P' = \alpha\omega \frac{\varkappa}{1+\varkappa} e^{\varkappa(3-s)\rho_0}.$$

Здесь $\varkappa$ обозначает логарифмический коэффициент поглощения

$$\varkappa = \frac{d\Delta m}{d\rho}.$$

Этот коэффициент характеризует резкость видимых очертаний туманности. По крайней мере с теоретической точки зрения формулы (5) и (6) позволяют определить функцию светимости $\varphi(M)$ на основании анализа поглощения в туманности с известными s, ρ_0 и ε.

5. Строимые на основании звездных подсчетов кривые Вольфа очень часто обнаруживают аномалии, из которых главнейшие:

a) кривая для темной области вначале иногда идет выше кривой для светлой области (пересечение кривых Вольфа),

b) наряду с первоначальным падением числа звезд в темной области примерно в 50% случаев имеет место вторичное падение этого числа для более слабых звезд, что с точки зрения общепринятого метода Вольфа интерпретируется как вторая темная туманность, расположенная позади первой («двойные» туманности), и

c) протяженность в глубину туманностей, определяемая по методу Вольфа, оказывается всегда того же порядка, как и расстояние до туманности. Другими словами, все туманности оказываются имеющими глубину, во много раз превышающую их поперечные размеры.

Качественный анализ уравнений Шварцшильда показывает, что при одинаковости распределения звездной плотности $[D(r)]$ и одинаковости функций распределения абсолютных величин $\varphi(M)$ в нормальной и темной областях пересечение кривых Вольфа невозможно, так как кривая для темной области должна итти ниже кривой для яркой области для всех значений видимой величины.

Пересечение однако возможно, если, во-первых, поглощение в туманности невелико, а, во-вторых, или в темной области имеется избыток звездной плотности или избыток абсолютно ярких звезд. «Двойные» туманности могут быть вполне объяснены быстрым возрастанием функции $\varphi(M)$ при $M > 7-8$ звездных величин, что наблюдается по крайней мере в ближайшей окрестности от Солнца.

Так же точно парадоксально большая глубина туманностей, выводимая по методу Вольфа, объясняется вполне дисперсией абсолютных величин звезд.

6. Рассмотрение отдельных подсчетов в общем подтверждает правильность предыдущих замечаний. Разумеется, для окончательного суждения необходимо рассмотреть значительно больше случаев туманностей, что и предполагается сделать в недалеком будущем. Обобщенная теория дает величины поглощения и расстояний, значительно отличаю-

щиеся от значений, получаемых на основании метода Вольфа. Так например, для участка № 7 ($\alpha = 20^h 13^m$; $\delta = +28^\circ.8$) в созвездии Лебедя [Известия ГАО, XIV, 2 (1935)] метод Вольфа дает две туманности с общим поглощением в 1.7 звездных величин, из которых первая находится на расстоянии 170 парсеков, а вторая — на расстоянии 250. Обобщенный же метод дает одну тонкую туманность, поглощающую 2.3 звездных величин и находящуюся на расстоянии 1000 парсеков.

Анализ результатов пулковских подсчетов показывает, что для получения более надежных результатов необходимо не ограничиваться малыми площадками порядка 1 кв. градуса, а брать площади по возможности большего размера. Особенно это необходимо при подсчетах ярких звезд, так как при малых площадках их число оказывается чрезвычайно малым, и потому характер кривых Вольфа оказывается слишком подверженным влиянию случайных флуктуаций видимой плотности звезд. 2—3 лишние звезды могут, как показывают примеры, совершенно изменить характер кривых Вольфа.

Более подробный отчет о работе печатается в Известиях ГАО, № 132.

Главная астрономическая обсерватория.
Академия Наук СССР.
Пулково.

Поступило
28 II 1938.