

УДК 524.577

**Структура и физические характеристики глобул Бока**

Л. Н. Аршуткин

Исследовано внутреннее строение глобул, поддерживаемых в равновесии турбулентным давлением. Рассчитаны изотермические модели для четырех облаков: B163, B335, L1407, L1551. Показано, что в оболочках глобул плотность изменяется по степенному закону, близкому к  $\rho \propto r^{-2}$ , а в центральных частях практически постоянна. Величина плотности в ядре — около  $10^5 \text{ см}^{-3}$ . Получена формула для вычисления массы облака по поверхностной плотности. Из сравнения лучевых концентраций  $N(\text{H}_2)$  в моделях и  $N(^{13}\text{CO})$  в наблюдаемых облаках независимо определены отношения  $^{13}\text{CO}/\text{H}_2$ , величины которых составляют в среднем около  $10^{-6}$ . Путем согласования основных параметров моделей и наблюдаемых облаков уточнены расстояния до них.

*STRUCTURE AND PHYSICAL PARAMETERS OF BOK GLOBULES, by Arshutkin L. N.*—Physical structure of globules supported in equilibrium by the turbulence pressure is investigated. The isothermal models are calculated for four clouds: B163, B335, L1407, L1551. It is shown that the density distribution outward from the centre is roughly proportional to  $r^{-2}$ , but at the inner core the density is nearly constant. In the central regions the volume density is  $\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ . The formula for cloud mass computation through the density at the edge of the cloud is obtained. The  $^{13}\text{CO}/\text{H}_2$  ratios ( $10^{-6}$  on the average) are determined by comparing the model column densities of  $\text{H}_2$  and the observed column densities of  $^{13}\text{CO}$ . The distances to the globules are refined by fitting the model parameters with observations.

При исследовании свойств межзвездных облаков и различных процессов, связанных с ними, принципиальное значение имеет вопрос о распределении массы внутри облака. Градиент плотности определяет распределение температуры, углового момента. Структуру плотности необходимо знать также при расчетах переноса излучения.

К настоящему времени из анализа молекулярных линий получены достаточно подробные данные о внутренней структуре ряда темных облаков и глобул. Это позволяет детально сравнивать и согласовывать характеристики наблюдаемых облаков и теоретических моделей, что в свою очередь позволяет делать выводы об их строении и эволюционном состоянии.

В данной работе исследуется структура четырех глобул на основе расчетов сферических равновесных изотермических моделей с учетом турбулентного давления. Уравнения, описывающие модель, и методы их решения подробно обсуждены в работе [2].

В модели исходными параметрами заданы: масса облака  $M$ , внешнее давление  $(nT)_{ext}$ , кинетическая температура  $T$ , закон изменения скорости турбулентности по облаку. Все эти характеристики, а также другие, необходимые для сравнения параметров, определяются для каждого облака из анализа наблюдательных данных. Основные из них — размер облака и его масса.

Для того чтобы определить размер облака, необходимо прежде всего дать определение границы облака. Часто в такого рода исследованиях границей считается область с  $A_v \geq 1$ . Однако большую часть информации о глобулах в настоящее время получают из анализа молекулярных линий. Поэтому предпочтительнее определять границу облака как зону, в которой регистрируются линии наиболее обильных молекул. Предположим, что граница облака охватывает ту область, в которой излучает молекула  $^{13}\text{CO}$  в линии  $J=1-0$  с интенсивностью в центре линии, соответствующей антенной температуре  $T_A^* \simeq 1-2 \text{ K}$ . Следует отметить, что за этой границей существует внешняя оболочка из атомарного водорода. Эта оболочка в данной работе не исследу-

ется. Ее влияние на внутреннюю, молекулярную часть учитывается через внешнее давление  $(nT)_{ext}$ .

Задав таким образом границу облака, оценим соответствующую лучевую концентрацию ( $^{12}\text{CO}$ ), учитывая, что в этом случае линия  $J=1-0$  образуется в оптически тонком слое. Вычисления, сделанные для стандартных условий в плотных межзвездных облаках, показывают, что величина  $T_A^* = 1$  К примерно соответствует оптической толщине в центре линии  $\tau_{10} \approx 0.2-0.3$ . Оценим лучевую концентрацию молекул на нижнем вращательном уровне [9]:

$$N_0 \approx \tau_{10} / [\sigma_{10} (1 - \exp(-5.536/T_{10}))],$$

где  $\sigma_{10} = 3c^2 A_{10} / (8\pi\nu^2 \Delta\nu)$  — сечение поглощения;  $T_{10}$  — температура возбуждения;  $A_{10} = 7.45 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$  — эйнштейновский коэффициент спонтанного перехода. Для  $\tau_{10} = 2$  в рассматриваемых условиях имеем  $N_0 \approx 10^{14} \text{ см}^{-2}$ . Используя результаты расчетов населенностей уровней молекул  $\text{CO}$  [3], определяем величину  $N(^{12}\text{CO}) \approx 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ . По этой величине оценим плотность на луче зрения молекулярного водорода. Применять здесь стандартное для молекулярных облаков отношение  $\text{CO}/\text{H}_2 \approx 5 \cdot 10^{-5}$  нельзя, потому что такое содержание оксида углерода достигается только на глубине  $N_{\text{H}} \gtrsim 6 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$  (например, [1]), что соответствует  $N(^{12}\text{CO}) \approx 1.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . При  $N_{\text{H}} < 5 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$  величина  $x(^{12}\text{CO})$  зависит от  $N_{\text{H}}$ . Анализ, выполненный на основе расчетов образования молекул [1], показал, что в пересчете на атомарный водород величина  $N(^{12}\text{CO}) = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  соответствует толщине облака  $N_{\text{H}} \approx 2.7 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$ . Содержание оксида углерода  $x(\text{CO})$  в этой области составляет примерно  $2 \cdot 10^{-7}$ .

Определим, какому визуальному поглощению соответствует такая толщина. Для этого используем выражение

$$A_V = 1.086 a\sigma_V N_{\text{H}},$$

где  $a\sigma_V = \pi r_d^2 n_d / n_{\text{H}} \approx 5 \cdot 10^{-25} r_d^{-1} m_d / m_{\text{H}}$ ,  $\text{см}^2$ ;  $r_d$  — радиус пылинки, равный  $1.25 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ ;  $m_d / m_{\text{H}}$  — отношение пыль/газ по массе. Если принять характерную для межзвездных облаков величину  $m_d / m_{\text{H}} \approx 0.01$ , получим, что граница должна соответствовать поглощению  $A_V \approx 1$ . Однако из сопоставления данных наблюдений следует, что область, в которой  $T_A^*(^{12}\text{CO}) = 1$ , как правило, больше, чем область с  $A_V \approx 1$ , и соответствует примерно  $A_V \approx 0.5-0.6$ .

Вполне возможно, что на краю облака пыли меньше, чем обычно принимается [14]. Величине  $A_V \approx 0.5$  соответствует принятая граница, если  $m_d / m_{\text{H}} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ .

Внутри облака можно выделить как структурную особенность еще одну зону — область эмиссии изотопа  $^{13}\text{CO}$ . Границу этой области определим также по интенсивности излучения в центре линии  $J=1-0$ . Величина  $T_A^* = 1$  К соответствует концентрации на луче зрения  $N(^{13}\text{CO}) \approx 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Если отношение  $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$  равно 50, то  $N(^{12}\text{CO}) \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ , если  $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO} = 98$ , тогда  $N(^{12}\text{CO}) \approx 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Это примерно размер области, в которой содержание оксида углерода достигает предельного значения, и можно применять отношение  $N(^{13}\text{CO})/N(\text{H}_2) \approx 10^{-6}$ , что соответствует количеству молекулярного водорода на луче зрения  $N(\text{H}_2) \approx 10^{21} \text{ см}^{-2}$ . Учитывая, что содержание  $\text{CO}$  достигает максимума на глубине  $N_{\text{H}} \gtrsim 3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$  [1], в пересчете на атомарный водород получаем толщину облака  $N_{\text{H}} \approx 8 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-2}$ . При стандартном соотношении пыль/газ получаем  $A_V \approx 3$ .

Для темных облаков из наблюдений получены соотношения между  $N(^{13}\text{CO})$  и  $A_V$ . Воспользуемся средней зависимостью, полученной в [5]:  $A_V = 7 \cdot 10^{-16} N(^{13}\text{CO}) + 1$ , которая справедлива для  $A_V \gtrsim 1$ . Из данного выражения следует, что величина  $N(^{13}\text{CO}) = 10^{15} \text{ см}^{-2}$  соответствует  $A_V \approx 2$  и близка к полученной для границы эмиссии  $^{13}\text{CO}$  из стандартного отношения пыли и газа.

По-видимому, в поверхностных слоях облака содержание пыли несколько меньше, чем во внутренних частях.

В рассматриваемых условиях возбуждение молекул в основном определяется столкновениями с молекулами  $H_2$ . Для оптически тонкого случая оценим плотность газа, необходимую для возбуждения молекулы CO:  $n(H_2) \gtrsim A_{10}/\sigma_c \bar{v}$ , где  $A_{10} = 7.45 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$  — вероятность спонтанного перехода;  $\sigma_c$  — сечение столкновения. Используя данные [6], получаем для  $^{12}\text{CO}$  (при  $T \approx 50 \text{ К}$ ), что  $n(H_2) \gtrsim 500 \text{ см}^{-3}$ . Для  $^{13}\text{CO}$  значение  $A_{10} = 6.5 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$ . Учитывая, что в этой области температура ниже ( $T \approx 10 \text{ К}$ ), получаем  $n(H_2) \gtrsim 10^3 \text{ см}^{-3}$ . И наконец, сделаем такую же оценку для  $NH_3$ :  $A_{1,1} = 1.7 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ ;  $\sigma_c \approx 5 \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$ ;  $T \approx 10 \text{ К}$ ; следовательно,  $n(H_2) \gtrsim 10^4 \text{ см}^{-3}$ .

Область эмиссии каждой молекулы имеет свои размеры. Если есть данные наблюдений одного облака по линиям различных молекул, можно получить распределение по облаку плотности газа и турбулентной скорости (по ширинам линий).

Масса облака обычно вычисляется либо по лучевой концентрации  $^{13}\text{CO}$ , либо по средней плотности в облаке. По-видимому, при использовании величины  $N(^{13}\text{CO})$  в определении массы может быть допущена значительная ошибка. Дело в том, что в рассматриваемых объектах плотность на луче зрения  $N(^{13}\text{CO})$  заметно изменяется от центра к краю. Максимальная величина  $N(^{13}\text{CO})$  приводит к завышенному значению массы. Оценки показывают, что превышение может быть более чем на порядок. Масса, вычисленная по минимальной величине  $N(^{13}\text{CO})$ , занижена. Необходимо принимать какое-то среднее значение. Но эта «средняя» величина плохо определяется: максимальное значение  $N(^{13}\text{CO})$  зависит от разрешения, с которым исследовалось облако.

Для вычисления массы облака по второму способу необходимо определить среднюю плотность. Молекулярные облака имеют большой градиент плотности. Наблюдения свидетельствуют о том, что в рассматриваемых облаках распределение плотности за пределами ядра близко к степенной зависимости  $n \propto r^{-\gamma}$ . Обычно величина  $\gamma$  находится в пределах 1.5—2. В таких конфигурациях плотные центральные области содержат малую часть массы, и при определении массы облака имеет смысл исходить из плотности на поверхности облака. Так как вблизи центра плотность слабо зависит от радиуса, для оценки массы воспользуемся следующей формулой:

$$M = \int_{r_1}^{r_*} 4\pi r^2 dr + M_1, \quad (1)$$

где  $r_*$  — радиус облака;  $r_1$  — радиус ядра;  $M_1 = (4/3)\pi r_1^3 \rho_1$  — масса ядра;  $\rho_1$  — плотность ядра.

Для оболочки примем зависимость  $\rho = \rho_* (r_*/r)^\gamma$ , где  $\rho_*$  — величина плотности на поверхности облака. Подставив это выражение в (1) и проинтегрировав, получаем

$$M = 4\pi \rho_* r_*^3 (1 - \xi)/(3 - \gamma), \quad (2)$$

где  $\xi = (r_1/r_*)^{3-\gamma} - (\rho_1/\rho_*) (r_1/r_*)^3 (3 - \gamma)/3$ .

В большинстве случаев  $r_1 \ll r_*$ . Для значений  $\gamma$  в пределах 1.5—2 величина  $\xi$  не превышает, как правило, 0.1—0.2. Подставив эти значения в (2), для оценки массы облака получим выражение

$$M \approx 8\pi \rho_* r_*^3/3. \quad (3)$$

На границе облако поддерживается в равновесии внешним давлением. Величина его определяется из условия непрерывности давления. Так как тепловое давление в этом случае играет пренебрежимо малую роль, определим величину внешнего давления по формуле

$$(nT)_{ext} = \rho_* v_*^2/3 \approx 92.9 n_* v_*^2, \quad (4)$$

где  $(nT)_{ext}$ ,  $K \cdot cm^{-3}$ ;  $n_*$ ,  $cm^{-3}$ ;  $v_*$  — скорость турбулентности на поверхности облака,  $km \cdot c^{-1}$ . Величина  $v_*$  определяется по ширинам линий  $J=1-0$   $^{12}CO$  [8]:

$$v_t \approx \sqrt{3\Delta v^2 / (2\alpha^2 \pi) - 3kT / (\mu m_H)}, \quad (5)$$

где  $\Delta v$  — полная ширина линии на половинной интенсивности, коэффициент  $\alpha$  учитывает непрозрачность в линии. Используемые для определения  $v_*$  параметры линий  $CO$  относятся к границе облака, где оптическая толщина в линии незначительна. В этом случае  $\alpha \approx 1$  [8]. Второй член под знаком корня мал. Поэтому примем  $v_t \approx \Delta v / 1.53$ .

Таким образом, мы задаем границу облака как область, в которой наблюдается эмиссия в линии  $J=1-0$  молекулы  $^{12}CO$  с интенсивностью в центре, соответствующей  $T_A^* = 1-2$  К. Это означает: 1) внутри этой границы плотность газа должна быть не меньше чем  $n \approx$

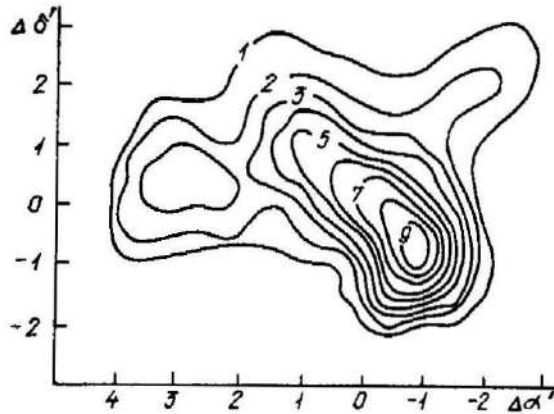


Рис. 1. Контурная карта облака В163 по лучевым концентрациям  $N(^{13}CO)$  в единицах  $10^{15} cm^{-2}$ . Линии охватывают области с одинаковой плотностью на луче зрения  $^{13}CO$ . Минимальное значение  $N(^{13}CO) = 10^{15} cm^{-2}$ , максимальное —  $9 \cdot 10^{15} cm^{-2}$

$\approx 500 cm^{-3}$ ; 2) визуальное поглощение на границе составляет примерно  $0.5m$ ; 3) снаружи должна находиться оболочка из атомарного водорода толщиной  $N_H \approx 4 \cdot 10^{20} cm^{-2}$  [1].

Для исследования выбраны шесть глобул: В68, В163, В335, В361, L1407, L1551. Основные параметры этих облаков приведены в таблице. Размеры вытянутых объектов определялись по формуле  $l = \sqrt{xy}$ , где  $x$  и  $y$  — длина и ширина облака в картинной плоскости. Кинетическая температура определена по эмиссии  $^{12}CO$  для центральных частей облаков. Масса и внешнее давление вычислены по (3) и (4) соответственно.

Кроме этих глобальных характеристик для каждого облака получены данные о структуре. Найдены распределение плотности газа и скорости турбулентности по облаку. По картам лучевых концентраций  $^{13}CO$ , приведенных в работах [4, 13], получена зависимость  $N(^{13}CO)$  от расстояния до центра облака. Распределение  $N(^{13}CO)$  в облаке В163, заимствованное из [4], приведено на рис. 1. Величины  $r$  для каждого значения  $N(^{13}CO)$  определялись по формуле  $r = 0.5\sqrt{xy}$ . Все наблюдательные данные о структуре приведены на рисунках.

Модели этих облаков рассчитывались следующим образом. Исходные параметры для моделирования взяты из наблюдений. Однако,

#### Основные параметры глобул

Глобула	Расстояние, пк	Размер области $^{12}CO$	$\Delta v^{12}CO$ , $km \cdot c^{-1}$	Радиус, пк	Масса, $M_{\odot}$	$T$ , К	$(nT)_{ext}$ , $K \cdot cm^{-3}$	Литературный источник
В163	400	7'	1.6	0.4	15	9	$5 \cdot 10^4$	[4, 10]
В68	200	5.5'	0.9	0.16	1	10.5	$2 \cdot 10^4$	[8, 10]
В335	400	8'	1.0	0.46	24	10.3	$2 \cdot 10^4$	[7, 10, 11]
В361	350	24'	4.0	1.2	415	8.5	$3 \cdot 10^5$	[4, 8, 12, 15]
L1407	170	36'	2.5	0.9	175	11	$10^5$	[13]
L1551	160	40'	1.5	0.9	175	18	$5 \cdot 10^4$	[13]

учитывая то, что необходимые параметры (масса, внешнее давление, показатель степени  $\alpha$ ) в зависимости скорости турбулентности от радиуса  $v_t \propto r^\alpha$  определяются неточно, значения их в моделях можно варьировать в пределах точности, с которой они получены, так, чтобы рассчитываемые распределения плотности, скорости турбулентности, лучевой концентрации  $N(\text{H}_2)$ , а также радиус облака как можно лучше совпадали с наблюдаемыми.

Величина массы очень чувствительна к расстоянию до облака, которое известно весьма приближенно. Поэтому можно легко менять

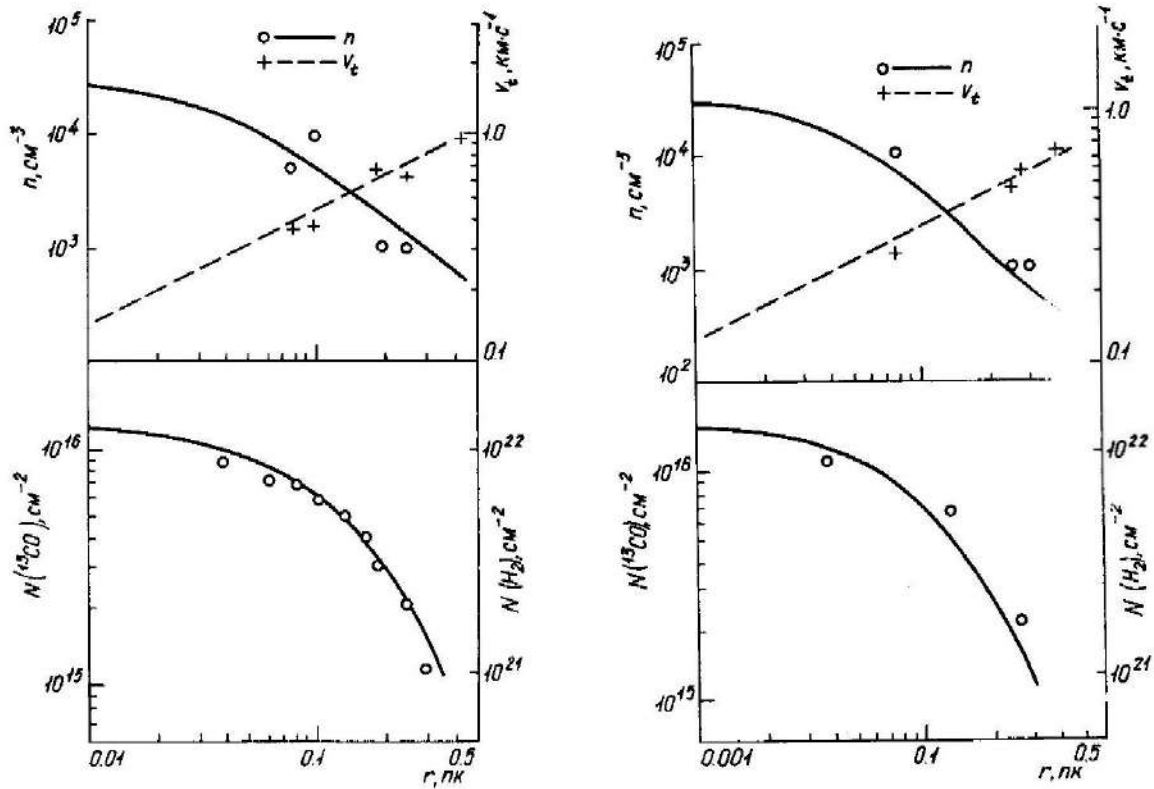


Рис. 2. Распределение плотности газа, скорости турбулентности и лучевой концентрации молекул  $^{13}\text{CO}$  (кружки) и  $\text{H}_2$  (сплошная кривая) в облаке B163. Кружками и крестиками показаны наблюдаемые значения, кривые соответствуют модели, которая лучше согласуется с наблюдениями. Параметры модели:  $M=20 M_\odot$ , расстояние до облака  $D=430$  пк,  $(nT)_{\text{ext}}=5 \cdot 10^4 \text{ K} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\gamma=1.6$

Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для облака B335. Параметры модели:  $M=15 M_\odot$ ,  $D=350$  пк,  $(nT)_{\text{ext}}=2 \cdot 10^4 \text{ K} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\gamma=1.8$

массу облака, варьируя незначительно расстояние до него. Если предлагаемая модель верно описывает структуру облаков, то такая процедура позволяет уточнить расстояние до этих объектов.

Результаты моделирования представлены на рисунках 2—5. На них показаны только те модели, характеристики которых лучше всего согласуются с наблюдаемыми точками. Распределение плотности за пределами ядер близко к степенной зависимости  $n \propto r^{-\gamma}$ , величина  $r$  изменяется в пределах 1.5—1.9. Такая зависимость выполняется в оболочке с радиусом примерно 0.1 пк. Внутри этой области градиент плотности значительно меньше. В зависимости турбулентной скорости от радиуса показатель степени  $\alpha$  для трех облаков составляет 0.5, а в облаке L1551 несколько меньше:  $\alpha=0.35$ .

В моделях рассчитана величина  $N(\text{H}_2)$  вдоль облака в зависимости от расстояния до центра облака в картинной плоскости. Сравнение такой зависимости с наблюдаемой, полученной для изотопа  $^{13}\text{CO}$ , позволяет независимо найти распределение плотности в облаке. Как видно из рисунков, зависимости  $N(\text{H}_2)(r)$  и  $N(^{13}\text{CO})(r)$  достаточно хорошо согласуются для всех облаков. Сравнение величин  $N(\text{H}_2)$  и  $N(^{13}\text{CO})$

позволяет кроме распределения плотности в облаке получить отношение  $^{13}\text{CO}/\text{H}_2$ . В рассматриваемых облаках это отношение близко к  $10^{-6}$ : В163— $10^{-6}$ , L1407— $1.4 \cdot 10^{-6}$ , L1551— $8 \cdot 10^{-7}$ , В335— $1.2 \cdot 10^{-6}$ . Эти величины хорошо согласуются с отношениями, полученными из теоретических расчетов образования молекул в плотных межзвездных облаках (например, [9]), что дополнительно свидетельствует о постоянном содержании оксида углерода в области эмиссии  $^{13}\text{CO}$ .

Таким образом, задавая полученные из наблюдений массу облака, внешнее давление, закон изменения скорости турбулентности по облаку,

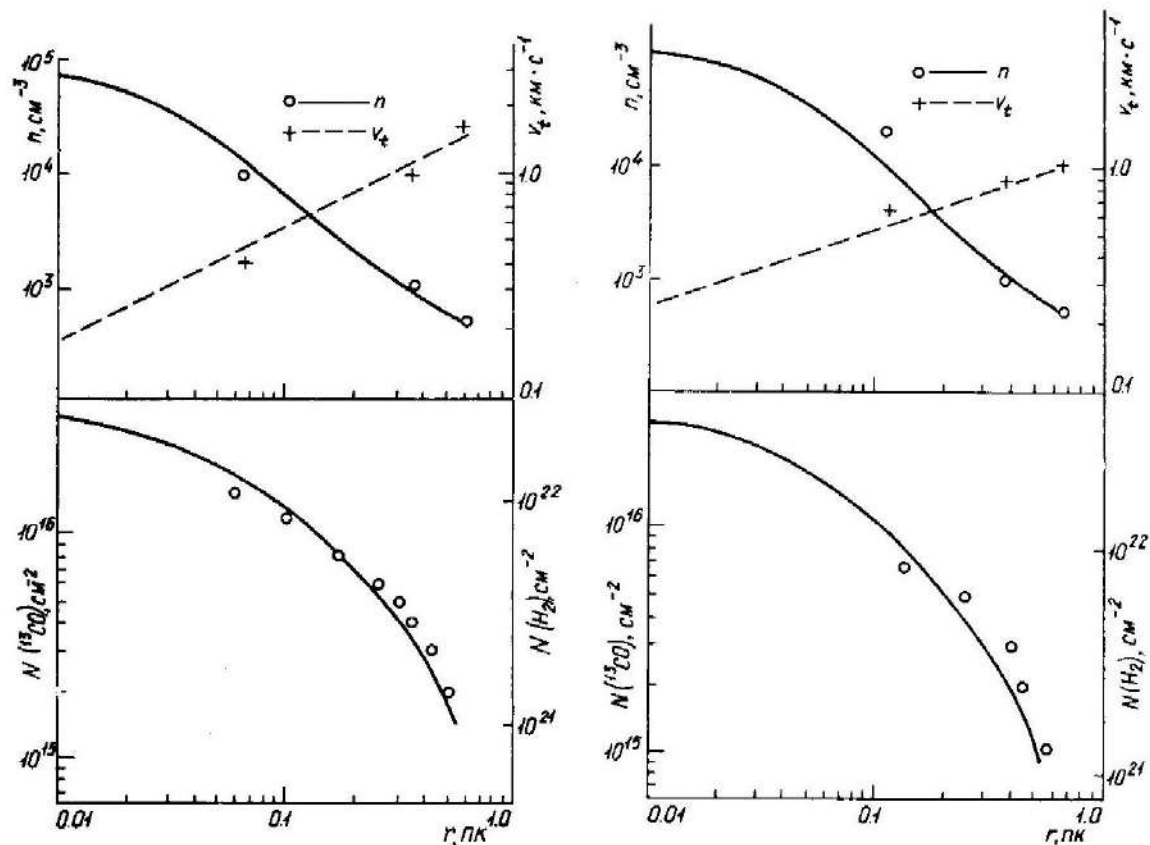


Рис. 4. То же, что и на рис. 2, для облака L 1407. Параметры модели:  $M=50 M_{\odot}$ ,  $D=110$  пк,  $(nT)_{ext}=10^5 \text{ K} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\alpha=0.5$ ,  $\gamma=1.5$

Рис. 5. То же, что и на рис. 2, для облака L 1551. Параметры модели:  $M=60 M_{\odot}$ ,  $D=110$  пк,  $(nT)_{ext}=5 \cdot 10^4 \text{ K} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,  $\alpha=0.35$ ,  $\gamma=1.9$

температуру газа и рассчитывая равновесные изотермические модели, получаем распределения плотности, скорости турбулентности по облаку, лучевой концентрации  $\text{H}_2$  вдоль облака, а также его радиус. Расчеты показали, что большинство глобул достаточно хорошо описываются построенными моделями. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что рассмотренные облака представляют собой равновесные образования. Однако есть глобулы, для которых не удалось построить согласующиеся равновесные модели. Причин может быть несколько. Во-первых, возможно, что массивные облака (с массой больше  $100 M_{\odot}$ ) имеют более сложную зависимость скорости турбулентности от радиуса. Чтобы выяснить это, необходимо получить из наблюдений более детальную структуру облака по ширинам линий разных молекул. Во-вторых, не исключена вероятность того, что для данных облаков нельзя применять изотермические модели: для облаков, в оболочках которых турбулентная скорость ниже обычной (либо температура газа выше стандартной), следует учитывать градиент температуры. И наконец, возможно, что эти облака не находятся в гравитационном равновесии — либо сжимаются, либо расширяются.

Резюмируем полученные результаты. Исследована внутренняя структура глобул на основе расчетов изотермических моделей, поддерживаемых в равновесии турбулентным давлением.

Показано, что в центральной части исследованных облаков плотность изменяется с изменением радиуса плавно, и ее величина не превышает, как правило,  $10^5 \text{ см}^{-3}$ , а в оболочке уменьшается по степенному закону, близкому к  $n \propto r^{-\gamma}$ , где  $\gamma \approx 1.5-1.9$ .

Сравнение лучевых концентраций  $N(\text{H}_2)$ , рассчитанных в моделях, и  $N(^{13}\text{CO})$ , полученных из наблюдений, позволило независимо сравнить теоретические и наблюдаемые распределения плотности в облаках, а также определить отношение  $x(^{13}\text{CO}) = N(^{13}\text{CO})/N(\text{H}_2)$ . Полученные значения  $N(^{13}\text{CO})$  хорошо согласуются с имеющимися теоретическими и наблюдательными оценками. То, что распределения  $N(^{13}\text{CO})$  и  $N(\text{H}_2)$  в облаках согласуются, свидетельствует также о том, что в области эмиссии  $^{13}\text{CO}$  содержание оксида углерода постоянно.

Согласование основных параметров моделей с наблюдаемыми позволило уточнить расстояния до облаков. Показано, что массу облака рассматриваемого типа предпочтительнее определять по плотности на поверхности облака. Получена формула для вычисления массы. Облака, характеристики и параметры которых достаточно хорошо описываются предложенной моделью, находятся, по-видимому, в квазиравновесном состоянии.

1. Аршуткин Л. Н. Исследование условий образования окиси углерода в межзвездных облаках // *Астрофизика*.— 1985.—22, вып. 1.— С. 163—176.
2. Аршуткин Л. Н., Колесник И. Г. Модели темных облаков и глобул // *Кинематика и физика небес*. тел.— 1987.—3, № 4.— С. 40—44.
3. Варшалович Д. А., Херсонский В. К. Населенности вращательных уровней молекул в межзвездной среде // *Астрон. журн.*— 1978.—55, вып. 6.— С. 1169—1175.
4. Arquilla R., Goldsmith P. F. Density distribution in dark clouds // *Astrophys. J.*— 1985.—297, N 2.— P. 436—445.
5. Frerking M. A., Langer W. D., Wilson R. W. The relationship between carbon monoxide abundance and visual extinction in interstellar clouds // *Ibid.*— 1982.—262, N 2.— P. 590—605.
6. Green Sh., Thaddeus P. Rotational excitation of CO by collisions with He, H, and  $\text{H}_2$  under conditions in interstellar clouds // *Ibid.*— 1976.—205, N 3.— P. 766—785.
7. Keene J., Harper D. A., Hildebrand R. H., Whitcomb S. E. Far-infrared observations of the globule B335 // *Ibid.*— 1980.—240, N 2.— P. L43—L46.
8. Leung C. M., Kutner M. L., Mead K. N. On the origin and structure of isolated dark globules // *Ibid.*— 1982.—262, N 2.— P. 583—589.
9. Liszt H. S. Time dependent CO formation and fractionation // *Ibid.*— 1978.—222, N 2.— P. 484—490.
10. Martin R. N., Barret A. H. Microwave spectral lines in Galactic dust globules // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*— 1978.—36, N 1.— P. 1—51.
11. Menten K. M., Walmsley C. M., Krugel E., Ungerechts H. Ammonia in B335 // *Astron. and Astrophys.*— 1984.—137, N 1.— P. 108—112.
12. Milman A. S. Carbon monoxide observations of a rotating dust globule // *Astrophys. J.* 1977.—211, N 1.— P. 128—134.
13. Snell R. L. A study of nine interstellar dark clouds // *Astrophys. J.— Suppl. Ser.*— 1981.—45, N 1.— P. 121—175.
14. Williams I. P., Bhatt H. C. The dust distribution in Bok globules // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1982.—199, N 2.— P. 465—470.
15. Williams I. P., Veda K., Griffiths W. K. et al. Polarization measurements of the Bok globule B361 // *Ibid.*— 1985.—212, N 1.— P. 181—187.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,  
Киев

Поступила в редакцию 31.07.86.  
после доработки 17.09.86