

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

НОЯБРЬ, 1977

ВЫПУСК 4

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ОБЛАКОВ НI

Ю. А. ЩЕКИНОВ

Поступила 9 марта 1977

Пересмотрена 31 августа 1977

Предлагается модель, позволяющая объяснить наблюдаемую корреляцию $N_H(-v_r)$ для высокоскоростных облаков НI с отрицательными скоростями. В этой модели отрицательные скорости обусловлены падением облаков на плоскость Галактики. Обсуждаются механизмы образования высокоскоростных облаков. Взрыв сверхновой в качестве такового кажется неудовлетворительным. Более предпочтительным оказывается рождение облаков за фронтом ударной волны, возникающей при взаимодействии межгалактического газа с газовым гало Галактики.

В настоящее время не существует единой точки зрения на природу высокоскоростных облаков НI (HVC). Однако многие исследователи в последнее время склоняются к мысли, что, по крайней мере, часть HVC является галактическими объектами (подробный обзор различных концепций см. в [1, 2]). Характерной особенностью HVC является преобладание облаков с отрицательными скоростями [1, 2]. Это обстоятельство позволило ряду авторов предположить, что отрицательные скорости облаков обусловлены падением последних на плоскость Галактики. В настоящем сообщении мы приводим некоторые аргументы в пользу этой гипотезы.

Слак и Сайлак [3] показали, что HVC в области $102^\circ < l < 130^\circ$ и $0^\circ < b < 25^\circ$ обнаруживают корреляцию поверхностной плотности водорода N_H и радиальной скорости облака v_r , причем лучше всего наблюдения удовлетворяют закону:

$$N_H = \frac{A}{(-v_r)^n} + B$$

с $1 < n < 5$. Этой корреляции подчиняются все облака с $v_r < -39$ км/сек. Ниже предпринята попытка объяснить эту корреляцию.

Наблюдаемые скорости НВС, как правило, значительно превосходят скорость звука в них, которая имеет значение близкое, по-видимому, к 1 км/сек, что соответствует температуре $T \approx 50^\circ\text{K}$. В этих условиях внутри облака будет образовываться ударная волна с числом Маха $M \sim 10 + 10^2$, так, что при движении облака в межзвездном газе оно будет иметь дискообразную форму. В такой ситуации изменение N_H связано, во-первых, с изменением поперечного (перпендикулярно скорости) размера облака R и, во-вторых, с «нагреванием» облаком межоблачного газа, в результате чего, к тому же, будет уменьшаться скорость облака. В большинстве случаев время изменения поперечного размера облака $t \sim R/c$ (c — скорость звука в облаке) больше характерного времени «нагревания» $t_c \sim N_H/n_i v_c$ (n_i — плотность межоблачной среды, v_c — скорость облака относительно окружающей среды). Действительно, за исключением нескольких НВС, приведенных Халсбошем [2], $t_c \approx 3 \cdot 10^{15}$ сек, при расстоянии до них ~ 1 кпс, в то время как $t \approx 5 + 10 \cdot 10^{14}$ сек. Это позволяет нам пренебречь изменением N_H , связанным с изменением поперечного размера облака. Заметим, что изменение N_H , связанное с формированием в облаке ударной волны и сжатием его вдоль направления движения, существенно лишь на начальных стадиях движения облака в течение времени, близкого к $t \sim R/v_c \sim 10^{13}$ сек с момента его образования.

Будем считать, что наблюдаемые отрицательные скорости НВС обусловлены падением их на плоскость Галактики. В этом случае, в рамках принятых предположений, величины N_H и v_c (v_c положительно в сторону уменьшения z) связаны приближенным соотношением:

$$v_c^2 \approx \frac{N_{H0}^2 v_0^2}{N_H^2} + \frac{1}{2} v_g^2, \quad (1)$$

v_0 и N_{H0} — начальная скорость и поверхностная плотность облака $v_g^2 = 2gz_0$, g — ускорение свободного падения в поле диска Галактики, z_0 — шкала высот межоблачного газа. При получении этого соотношения было принято $v_0 \gg v_c / 2$, что согласуется с наблюдениями: для плотности межоблачного газа было принято распределение $n_i = n_{i0} \exp(-z/z_0)$, которое близко к наблюдаемому в окрестности Солнца [4]. Выражение (1) близко к закону $N_H(-v_c)$, полученному в [3] с $n = 1$, при $v_c \gg v_g / \sqrt{2}$. Действительно, в этом случае получим из (1):

$$N_H \approx \frac{N_{H0} v_0}{v_c} + \frac{N}{4} \frac{N_{H0} v_0}{v_c} \frac{v_g^2}{v_c^2}.$$

На рис. 1 выражение (1) сравнивается с параметрами облаков, приведенных Халсбошем [2]. По вертикали отложены наблюдаемые значения

$-(v_r/\sin b)$ (b — галактическая широта), в соответствии с принятым нам предположением о направлении движения облаков. Рис. 1а соответствует низкоширотной группе облаков — комплексы А, В (в обозначениях Халл-Боша [2]) и ряд других облаков, объединенных в цепочку, протяженную от $l, b \approx 110^\circ, 10'$ до $l, b \approx 160^\circ, 45'$. Рис. 1б — высокоширотной группе — комплексы MI, MII, CI, CIII и ряд облаков, объединенных в цепочку от $l, b \approx 90^\circ, 35'$ до $l, b \approx 190^\circ, 70'$. Рис. 1 показывает качественное согласие соотношения (1) с наблюдениями при $(1/\sqrt{2})v_0 = 20$ км/сек и начальных параметрах $v_0 \cdot N_{H0} / 10^{11} = 5 \cdot 10^1$ см⁻² км/сек для низкоширотной группы облаков и $v_0 \cdot N_{H0} / 10^{19} = 10^1$ см⁻² км/сек для высокоширотной. Облака с $b < 10^\circ$, которые возможно принадлежат спиральным рукавам, а также группа облаков, локализованная в области Южного галактического полюса, исключались из рассмотрения.

Остановимся кратко на возможных механизмах происхождения НВС. Полная кинетическая энергия совокупности НВС из списка [2] имеет величину $\approx 3 \cdot 10^{52}$ эрг. Это в 3 раза превышает значение, характерное для кинетической энергии оболочки сверхновой II типа. Кроме того, в энергию движения НВС могла перейти лишь часть энергии расширяющейся оболочки сверхновой. К тому же при движении НВС энергия их уменьшается из-за высвечивания при взаимодействии с межоблачным газом. Поэтому происхождение этой совокупности облаков трудно связать с взрывом сверхновой. Предположение же о нескольких сверхновых также кажется неудовлетворительным, т. к. в этом случае трудно объяснить тенденцию облаков группироваться в две достаточно протяженные цепочки, почти параллельные друг другу (см. рис. 3 в работе [2]).

В ряде работ была высказана идея о том, что явление НВС может быть связано с падением межгалактического газа на плоскость Галактики [5]—[8]. Предполагая, что НВС образуются за счет тепловой неустойчивости за фронтом ударной волны, возникающей при этом, а также принимая для температуры, соответствующей началу тепловой неустойчивости, $T_{cr} \sim 10^4$ К, получим оценку для начальной поверхностной плотности облаков $N_{H0} \approx 5 \cdot 10^{19}$ см⁻². В этой схеме различия между высокоширотной и низкоширотной группами НВС связаны с различиями в начальных скоростях для этих групп — $v_0 \approx 200$ км/сек и $v_0 \approx 10^3$ км/сек, соответственно.

Часть НВС со скоростями $|v_r| \lesssim 40 - 50$ км/сек могли образовываться в результате конвективно-тепловой неустойчивости при прохождении по межзвездному газу спиральной ударной волны [9]. Однако в этом случае связь между N_H и v_0 , по-видимому, отлична от (1).

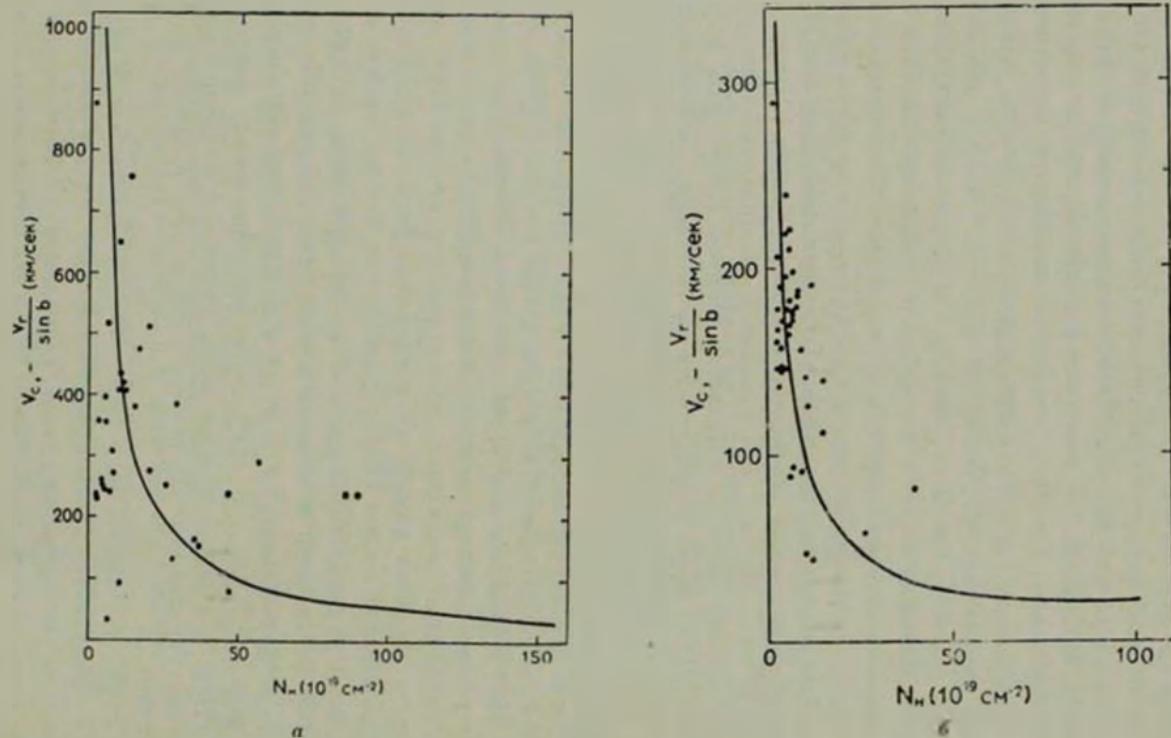


Рис. 1: а — кривая $v_c(N_n)$ для низкоширотной группы облаков, $v_0 \cdot N_{110} = 5 \cdot 10^3 \cdot 10^{19} \text{ км/сек см}^{-2}$; б — кривая $v_c(N_n)$ для высокоширотной группы облаков, $v_0 \cdot N_{110} = 10^3 \cdot 10^{19} \text{ км/сек см}^{-2}$; точки соответствуют наблюдаемым значениям — $v_r \sin b$ [2].

Таким образом, гипотеза о том, что НВС являются внутригалактическими объектами, хорошо согласуется с наблюдениями.

Автор благодарен рецензенту за сделанные им замечания.

НИИ Физики

Ростовского государственного
университета

ON THE ORIGIN OF HIGH-VELOCITY HI CLOUDS

Yu. A. SHCHEKINOV

An interpretation of correlation $N_{HI}(-v_i)$ for high-velocity HI clouds is proposed. It is assumed that the negative velocity of clouds is a result of movement towards the Galaxy plane. The plausible formation mechanisms of high-velocity clouds are discussed. The supernovae explosion is apparently unsatisfactory. It seems, that the cloud formation due to collision between galactic and intergalactic gas (e. g. intergalactic wind) is more favourable.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. L. Verschuur, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 13, 257, 1975.
2. A. N. M. Hulsbosh, *Astron. Astrophys.*, 40, 1, 1975.
3. J. Silk, R. S. Silk, *Ap. Lett.*, 13, 143, 1973.
4. U. Mebold, *Astron. Astrophys.*, 19, 73, 1972.
5. J. H. Oort, *Astron. Astrophys.*, 7, 381, 1970.
6. M. Tosa, T. Kato, *Astrophys. Space Sci.*, 18, 504, 1972.
7. T. L. Chau, M. P. Svedoff, *Nuovo Cimento*, B8, 130, 1972.
8. Я. А. Якиште, Э. М. Саар, *Письма АЖ*, 3, 9, 1977.
9. А. А. Сучков, Ю. А. Шекинов, *Астрофизика*, 10, 265, 1974.