

УДК 524.6

## Радиальные движения в Галактике

И. Г. Колесник, Л. В. Юревич

В предположении азимутальной симметрии получено распределение радиальных скоростей молекулярных облаков OH в диапазоне галактических расстояний 1--14 кпк. Максимальная скорость расширения  $\Pi \sim 50$  км/с наблюдается в области рукава на 3 кпк. Радиальные скорости в других областях свидетельствуют о движениях от центра и к центру Галактики. Из сравнения угловых скоростей облаков в окрестностях Солнца оценена скорость радиального движения местного стандарта покоя  $\Pi_0 = 7$  км/с. Учет полученных радиальных скоростей приводит к близким круговым скоростям в соседних галактоцентрических квадрантах.

*RADIAL MOTIONS IN THE GALAXY, by Kolesnik I. G., Yurevich L. V.*— Assuming circular symmetry, the radial motions of OH molecular clouds are obtained in the galactic distance range from 1 to 14 kpc. The maximum expansion velocity about  $50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$  is observed in the 3-kpc arm region. The radial velocities in other galactic regions testify to both outward motions and inward ones. Comparing the cloud angular velocities in the vicinity of the Sun, LSR radial motion is estimated ( $7 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Account of radial motions obtained results in similar rotational velocities in two neighbouring galactocentric quadrants.

При исследованиях структуры и кинематики Галактики, основанных на лучевых скоростях галактических объектов, важно знать распределение радиальных движений для учета их вклада в наблюдаемые лучевые скорости. Наиболее значительный вклад радиальных движений в лучевые скорости отмечается в направлении галактического центра, а также в области расширяющихся спиральных рукавов.

Следствием радиальных движений облачной составляющей Галактики и движения местного стандарта покоя (МСП) является различие круговых скоростей относительно линии центр — антицентр Галактики. Для устранения этого различия в работе [6] введено дополнительное движение Солнца и МСП в направлении антицентра со скоростью 7 км/с. В этой же работе (согласно схеме общего расширения) предложен закон изменения радиальной скорости  $\Pi$  с расстоянием  $R$  от центра Галактики в виде  $\Pi(R) \propto R^{-2}$ . Позже схема общего расширения была подвергнута сомнению [7], но тем не менее в дальнейшем продолжались разработки моделей с общим расширением. Например, в работе [3] приводится закон расширения  $\Pi(R) = 484 R \exp(-R/1.07)$ .

Недавние исследования радиальных движений областей H II в диапазоне галактических расстояний 6—16 кпк [5] выявили наличие в Галактике движений, направленных как от центра, так и к ее центру.

В настоящей работе определяются радиальные движения облаков гидроксила в интервале галактических расстояний 1—14 кпк. Используются лучевые скорости 1138 молекулярных облаков из обзора [11]. Расстояния до облаков определяются по предложенной нами зависимости  $D(r)$  параметра радиолиний поглощения на частотах 1665 и 1667 МГц от расстояния  $r$  до них [1, 2]. Из сравнения угловых скоростей в окрестностях Солнца определяется радиальное движение МСП. С учетом полученных радиальных движений вычисляются круговые скорости облаков.

Пусть скорости движения облаков в плоскости Галактики характеризуются двумя составляющими: круговой  $V(R)$  и радиальной  $\Pi(R)$  (рис. 1). Тогда наблюдатель, находящийся в окрестностях Солнца, видит движение облаков в направлении галактической долготы  $l$  на лучевой скорости

$$V_{\text{рад}} = R_0 (\omega(R) - \omega_0) \sin l - R_0 (H - H_0) \cos l + Hr, \quad (1)$$

где  $R_0$  — расстояние Солнце — центр Галактики;  $\omega(R)$  — угловая скорость вращения Галактики на расстоянии  $R$ ;  $\omega_0$  — угловая скорость вращения Галактики в окрестностях Солнца;  $H = \Pi/R$ ;  $H_0 = \Pi_0/R_0$ ;  $\Pi_0$  — скорость радиального движения Солнца;  $R$  и  $r$  — галактические и гелиоцентрические расстояния облаков.

Применим уравнение (1) для пары облаков, расположенных симметрично относительно прямой центр — антицентр (рис. 1). Считая, что

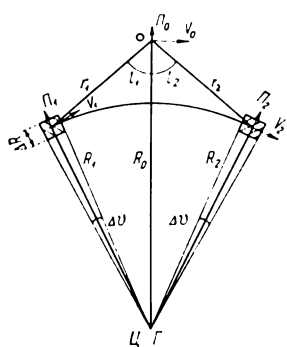


Рис. 1. Схема определения радиальных движений:  $\odot$  — Солнце;  $\text{ЦГ}$  — центр Галактики

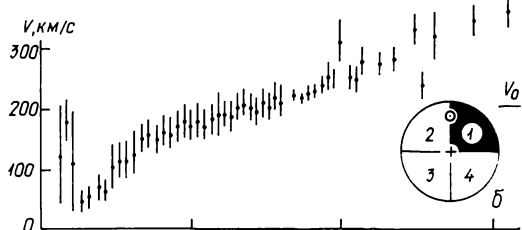
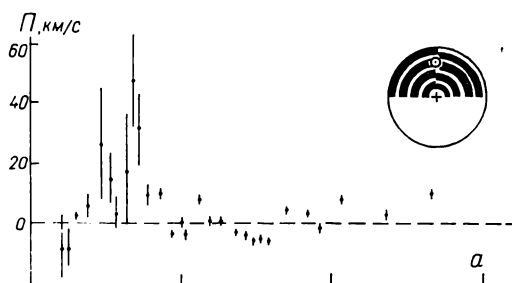
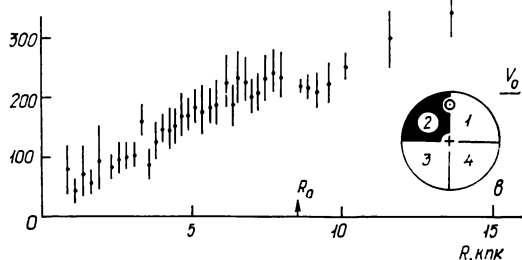


Рис. 2. Скорости радиальных (а) и круговых (б, в) движений молекулярных облаков ОН в Галактике:  $\odot$  — Солнце;  $+$  — центр Галактики. Зачерненные части кружков — рассматриваемые области Галактики



$\omega(R_1) = \omega(R_2) = \omega(R)$  и  $H(R_1) = H(R_2) = H(R)$ , получаем выражение для радиальной скорости  $H$  на расстоянии  $R$  от центра Галактики

$$H(R) = (V_{\text{rad}_1} + V_{\text{rad}_2} - 2\Pi_0 \cos l) / 2 (r - R_0 \cos l), \quad (2)$$

в котором принято, что  $\cos l_1 = \cos l_2 = \cos l$  и  $r_1 = r_2 = r$ .

В выражение (2) входит радиальная скорость Солнца  $\Pi_0$ . Как отмечалось [6],  $\Pi_0 = 7$  км/с. Позже по движению звезд плоской составляющей было получено  $\Pi_0 = 10$  км/с [12]. В работе [10] оценено движение МСП относительно вращательного стандарта покоя со скоростью 8—13 км/с в направлении между галактическими долготами 115 и 145°.

Мы самостоятельно определили значение  $\Pi_0$  по наблюдательному материалу. Варьируя значения  $\Pi_0$  с приращением 1 км/с, мы добивались устранения разрыва угловых скоростей облаков ОН в четырех галактических квадрантах в окрестностях Солнца  $|R - R_0| < 2$  кпк. Отметим, что без учета радиального движения Солнца разность круговых скоростей облаков гидроксила 1-го и 2-го галактоцентрических квадрантов достигала в этой области 50 км/с [2].

В первом приближении, без учета радиальных движений облаков, наилучшее согласие кривых вращения в окрестностях Солнца было достигнуто при  $\Pi_0 = 9$  км/с. Проведя такое же сравнение кривых вращения с учетом выделенных нами радиальных движений, получаем  $\Pi_0 = 6$ —7 км/с. Вычисления проводились при  $V_0 = 220$  км/с и  $R_0 = 8.5$  кпк.

Данное значение  $R_0$  получено при уточнении расстояния  $r_0$  до центра вращения облаков ОН с учетом радиального движения МСП в направлении антицентра со скоростью 7 км/с. В отличие от [4], значение  $r_0 = R_0$  определялось по максимуму угловой скорости вращения облаков в области галактического центра.

Для определения радиальных скоростей облаков по формуле (2) рассматривались симметричные области Галактики, содержащие по несколько облаков ОН. Вся наблюдавшаяся часть плоскости Галактики [11] была разбита на ячейки размером  $\Delta\theta \times \Delta R$  (рис. 1). В каждой ячейке определялись средние значения  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$ ,  $V_{\text{rad}_1}$  и  $V_{\text{rad}_2}$ , по которым с помощью выражения (2) вычислялись радиальные скорости  $\Pi(R)$  на галактическом расстоянии  $R = (\bar{R}_1 + \bar{R}_2)/2$ .

С учетом неоднородного расположения облаков в двух симметричных областях Галактики использовано разбиение галактической плоскости на ячейки пяти размеров:  $10^\circ \times 0.4$  кпк,  $10^\circ \times 0.6$  кпк — в области  $|R - R_0| > 1.5$  кпк;  $16^\circ \times 0.8$  кпк,  $30^\circ \times 1.0$  кпк — в области  $R > 10.5$  кпк и  $3^\circ \times 0.25$  кпк — в области  $|R - R_0| < 1.5$  кпк. При таких разбиениях ячейки содержали от 1—2 до 10—15 облаков. От способа разбиения немного зависят получаемые значения радиальных скоростей при сохранении неизменного характера их распределения по  $R$ .

На рис. 2, а приведены радиальные скорости  $\Pi(R)$ , которые получены путем усреднения отдельных значений скоростей в интервалах  $\Delta R = 0.2$  кпк. Вертикальными черточками показаны средние квадратичные ошибки скоростей, вычисленные на основании выражения (2) с учетом средней квадратичной ошибки гелиоцентрического расстояния до единичного облака 1.5 кпк и дисперсии лучевой скорости 4 км/с.

Как видно из рис. 2, а, зависимость  $\Pi(R)$  характеризуется рядом участков шириной от 0.5 до 1 кпк с радиальной скоростью, направленной от центра Галактики. Между такими участками радиальные движения могут иметь противоположное направление — к центру Галактики. Эти участки с заметными радиальными движениями, очевидно, характеризуют отдельные спиральные рукава.

Максимальная скорость радиального движения  $\Pi \sim 50$  км/с наблюдается на галактическом расстоянии  $R = 3.4$  кпк. Такая скорость должна принадлежать расширяющемуся рукаву на 3 кпк. Вторая по скорости деталь с  $\Pi \sim 30$  км/с располагается на расстоянии  $R = 2.4$  кпк, и, по-видимому, характеризует расширяющуюся структуру, которая наблюдается на лучевой скорости  $-30$  км/с в поглощении излучения источника Стрелец А в линиях CO [9] и HCO<sup>+</sup> [8]. Другие участки зависимости  $\Pi(R)$  с радиальными скоростями от 5 до 10 км/с могут также объяснить широкую линию поглощения излучения источника Стрелец А вблизи нулевой радиальной скорости [8]. Отметим также повышение радиальной скорости в области Местного спирального рукава на  $R \sim 9$  кпк и спирального рукава Персея на  $R \sim 10.5$  кпк. Между этими рукавами радиальная скорость направлена к центру Галактики.

Исправим теперь лучевые скорости облаков ОН за определенные радиальные движения и движение МСП в направлении антицентра со скоростью 7 км/с. Для учета радиальных движений облаков зависимость  $\Pi(R)$  аппроксимировалась кубическим сплайном. На основании исправленных лучевых скоростей определялись круговые скорости облаков в плоскости Галактики и была определена кривая вращения  $V(R)$ . Последняя определялась таким же способом, как и в работе [2]. Результаты для 1-го и 2-го галактоцентрических квадрантов (зачерненные секторы), полученные при усреднении круговых скоростей облаков в интервалах  $\Delta R = 0.2$  кпк, приводятся на рис. 2, б, в. Вертикальные черточки показывают средние квадратичные ошибки.

Сравнение этих результатов с кривыми вращения, которые были получены нами по лучевым скоростям облаков ОН, измеренным в движущейся системе МСП [2], показывает, что учет радиальных движений позволяет определить близкие круговые скорости в соседних галактоцентрических квадрантах. Тем не менее полного сходства круговых скоростей в смежных квадрантах все же не наблюдается. Это может свидетельствовать о некотором отклонении от принятой здесь схемы азимутальной симметрии.

Заметим, что после учета радиальных движений круговые скорости облаков ОН в областях галактического центра и в засолненной ( $R > R_0$ ) все еще отличаются от круговых скоростей, полученных по другим межзвездным молекулам в соответствующих областях. В первом случае скорости облаков ОН имеют меньшие значения, во втором — большие. Поскольку данная тенденция одинакова в обоих исследованных квадрантах, такое расхождение с другими результатами не могло повлиять на определенные здесь радиальные скорости. Это подтверждается хорошим согласием радиальных скоростей ОН с радиальными скоростями областей Н II [5] в перекрывающемся интервале расстояний.

1. Колесник И. Г., Юревич Л. В. Определение расстояний до межзвездных облаков по линиям поглощения ОН // *Астрофизика*.— 1983.—19, вып. 4.— С. 761—777.
2. Колесник И. Г., Юревич Л. В. Кривая вращения Галактики по наблюдениям гидроксила // Там же.— 1985.—22, вып. 3.— С. 461—472.
3. Рольфс К. Лекции по теории волн плотности.— М.: Мир, 1980.—208 с.
4. Юревич Л. В. Определение расстояния Солнца до центра Галактики по кривой вращения // *Астрофизика*.— 1985.—23, вып. 2.— С. 265—275.
5. Haud U. Rotation curve of our Galaxy for  $R > R_0$  // *Astrophys. and Space Sci.*— 1984.—104, N 2.— P. 337—345.
6. Kerr F. J. Galactic velocity models and the interpretation of 21-cm surveys // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1962.—123, N 4.— P. 327—345.
7. Kerr F. J., Westerhout G. Distribution of interstellar hydrogen // *Stars and Stellar Systems*.— Chicago: Chicago Univ. press, 1965.— P. 167—202.
8. Linke R. A., Stark A. A., Frerking M. A. Millimeter-wave absorption features toward the galactic center // *Astrophys. J.*— 1981.—243, N 1.— P. 147—154.
9. Liszt H. S., Burton W. B., Sanders R. H., Scoville N. Z. Kinematics of carbon monoxide observed within one degree of the galactic center // *Ibid.*— 1977.—213, N 1.— P. 38—42.
10. Shuler W. L. H. A rotational standard of rest // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1982.—199, N 2.— P. 109—113.
11. Turner B. E. A survey of OH near the galactic plane // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*— 1979.—37, N 1.— P. 1—332.
12. Uppgren A. R. The motions of K and M dwarf stars of different ages // *Astron. J.*— 1978.—83, N 6.— P. 626—635.