# АСТРОФИЗИКА

TOM 22

ИЮНЬ, 1985

выпуск з

УДК: 524.6

# КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ГИДРОКСИЛА

## И. Г. КОЛЕСНИК, Л. В. ЮРЕВИЧ Поступила 13 июня 1984 Принята к печати 11 января 1985

На основании зависимости параметров линий поглощения молекулярных облаков ОН от расстояния до них определена кривая вращения Галактики до галактоцентрических расстояний 16 кпс. Результаты представлены отдельно для двух галактоцентрических квадрантов, граничащих по прямой центр Галактики—Солнце. Полученная кривая вращения повторяет закономерности кинематики Галактики, установленные по другим молекулам, тем самым показывая вфективность применения наблюдаемых параметров линий поглощения гидроксила для определения расстояний до молекулярных сблаков в Галактике. По положению центрального пика кривой вращения оцене:: о расстояние Солнца от галактического центра  $R_0 \sim 8.5$  кпс. Масса Галактики внутри радиуса 100 кпс, вычисленная из распределения скорости вращения, составляет  $\sim 3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ .

1. Введение. Определение кривой вращения Галактики независимыми способами до больших расстояний имеет важное значение для изучения кинематики и распределения массы Галактики. Последние результаты наблюдений в линиях СО показали, что скорость кругового движения в Галактике V(R) увеличивается с удалением за галактоцентрический радиус Солнца и на рассстоянии  $R \sim 15-16$  кис достигает значения  $\sim 300$  км/с [1]. Подъем кривой вращения на втих расстояниях дает также изучение кинематики нейтрального водорода по излучению на 21 см [2].

В данной работе приводятся результаты исследования кривой вращения Галактики, полученные на основе обзора галактической плоскости в линиях ОН [3]. Как было показано в работе [4], наблюдаемые параметры радиолинии поглощения гидроксила — полуширина  $\Delta v$  и глубина  $T_A$  образуют некоторую величину  $\delta = \sqrt{\Delta v/T_A}$ , линейно возрастающую с расстоянием r до молекулярного облака. Применение зависимости  $\delta(r)$ позволяет независимым способом определять расстояния до молекулярных облаков в Галактике, не привязываясь к какой-либо кинематической модели. Используя определенные по  $\mathfrak{F}(r)$  расстояния совместно с лучевыми скоростями облаков из работы [3], получаем возможность непосредственного определения кривой вращения Галактики V(R) [5]. Данный метод определения V(R) позволяет исследовать как закономерности вращения Галактики в целом, так и движения в выделенных секторах и направлениях.

Методика определения расстояний по линиям поглощения ОН рассмотрена во втором разделе. Третий раздел описывает способ получения кривой вращения, в четвертом приводятся обсуждение результатов и сравнение их с другими данными по кинематике Галактики; обсуждается величина расстояния Солнца от центра Галактики. В пятом разделе приведено сравнение кривой вращения ОН с тангенциальной кривой вращения СО и с кривой вращения Н I, делаются выводы относительно особенностей поведения кривой вращения ОН. В шестом разделе рассмотрено распределение массы Галактики и седьмой содержит выводы, полученные на основании проведенного исследования.

2. Методика определения расстояний по линиям поглощения ОН. При анализе данных обзора галактической плоскости в линиях ОН было получено [4], что величина  $\delta = \sqrt{\Delta v/T_A}$ , связывающая между собой полуширину линии поглощения  $\Delta v$  и ее глубину  $T_A$ , показывает систематический рост с увеличением расстояния до молекулярных облаков. С хорошей точностью зависимость  $\delta$  от r аппроксимируется прямой линией.

Полученная зависимость имеет теоретическое обоснование. В турбулентных молекулярных облаках скорость турбулентности, которая определяет ширины наблюдаемых линий, увеличивается с размером облака L по закону  $\Delta v \propto L^{\beta}$ , где  $\beta \approx 0.4 - 0.5$ . Переходя от L к *r*-расстоянию до наблюдаемого облака, получим  $\Delta v \propto r^{\beta}$ , причем анализ наблюдаетельных данных линий ОН дает  $\beta = 0.47$  [4]. С другой стороны, антенная температура линии поглощения, формирующейся в турбулентном облаке, состоящем из отдельных плотных комков, пропорциональна телесному углу  $\Omega_{C}$ , под которым наблюдается один такой комок [4]. Поскольку  $\Omega_{C}$  уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до облака, получаем, что в идеальном случае  $T_A \propto r^{-2}$ . Этим обосновывается полученный эмпирический результат, связывающий величину  $\hat{v} = \frac{1}{\Delta c}/T_A$  с расстоянием до облака.

Поскольку в турбулентных облаках β ≈ 0.5, можно ожидать, что более близкую к линейной зависимости будет давать величина

$$D = \left(\frac{\Delta v^2}{T_A}\right)^{1/3}$$

(1)

## КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ

На рис. 1 показана зависимость D(r), построенная для линий поглошения ОН на частоте 1665 МГц по данным табл. 1 из работы [4]. Такая же зависимость была рассмотрена для линий поглощения на частоте 1667 МГц. В обоих случаях получаем линейный вид зависимости параметра D от расстояния r:



Рис. 1. Зависимость параметра линии поглощения ОН  $D = (\Delta v^2 / T_A)^{1/3}$  от голиоцентрического расстояния облака *г* для частоты 1665 МГц. Прямая линия изображает линейную зависимость (2), штриховая линия степенная аппроксимация  $D(r) = 2.5 \cdot \sqrt{r}$ .

Выражения (2) использовались для определения расстояний облаков ОН от Солнца. Во избежание получения отрицательных расстояний r(D)при  $D_{1865} < 2.24$  и  $D_{1667} < 1.97$  линейная зависимость для малых D была заменена на степенную вида  $D(r) = 2.5 \cdot \sqrt{r}$  (она показана на рис. 1 штриховой линией).

Наблюдаемые параметры линий поглощения ОН на частотах 1665 и 1667 МГц для 1138 облаков взяты из работы [3]. Для облаков, которые одновременно наблюдались на двух частотах, в качестве расстояний принималось среднее из величин, определенных по зависимостям на 1665 и 1667 МГц. При расстояниях от Солнца в пределах до 10 кпс среднеквадратическая ощибка определения расстояний до облаков составляет  $\pm 1$ —1.5 кпс.

Определенные таким способом гелиоцентрические расстояния rсовместно с известными лучевыми скоростями облаков  $V_{rad}$  образуют поле лучевых скоростей облаков в плоскости Галактики, на основании которого определялась кривая вращения V(R). 3—327



Рис. 2. Кривые галактического вращения по линиям поглощения ОН для 1 (а) и 2 (b) галактоцентрических квадрантов. Области Галактики, к которым относятся данные кривые вращения, отмечены штриховкой в нижней части рисунков. Вертикальные черточки — дисперсии средневавешенных значений в радиальных кольцевых зонах шириной 160 пс внутри квадрантов. Значения без дисперсии соответствуют едикичным определениям скорости вращения.  $R_0 = 10$  кпс,  $I'_0 = 230$  км/с.

3. Определение кривой вращения Галактики. Примем, что движение облаков в Галактике происходит по круговым орбитам. Тогда для определения угловой скорости вращения  $\omega$  (*R*) по методу Камма [6] имеем:

$$\omega(R) = \omega_0 + \frac{V_{\rm rad}}{R_0 \cdot \sin l \cdot \cos b}$$
(3)

Здесь  $w_0$  — угловая скорость вращения в окрестностях Солнца,  $V_{\rm rad}$  — лучевая скорость облака,  $R_0$  — расстояние Солнца от центра Галактики, l и b — галактические координаты облака. Галактоцентрические расстояния облаков R равны

$$R = (R_0^2 + r^2 \cos^2 b - 2 \cdot R_0 \cdot r \cdot \cos l \cdot \cos b)^{1/2}, \tag{4}$$

где r = r(9).

Линейная скорость вращения Галактики V(R) определялась при помощи выражения

$$V(R) = w_0 \cdot R + \frac{V_{\text{rad}}}{\sin l \cdot \cos b} \cdot \frac{R}{R_0}.$$
 (5)

Вычисления проводились при различных значениях параметров  $R_0$  и  $\omega_0$ .  $R_0$  изменялось ст 7 до 10 кпс через 1 кпс,  $\omega_0$  — от 22 до 26 км/(с·кпс) через 1 км/(с·кпс).

Рассмотрены кривые вращения для двух галактоцентрических квадрантов — 1 и 2 (см. рис. 2). При этом из всего массива данных по линиям поглощения ОН, содержащихся в обзоре Тернера [3], в первый галактоцентрический квадрант согласно формулам (2) попадает 740 облаков, во второй — 242 облака. Небольшое количество облаков, которые попадают в 3 и 4 галактоцентрические квадранты, при определении кривой вращсния не рассматривалось.

Полученные кривые вращения Галактики для квадрантов 1 и 2 представлены на рис. 2 при  $R_0 = 10$  кпс и  $V_0 = 230$  км/с. Каждая точка на рисунке соответствует значению скорости, средневзвешенной по радиальной кольцевой зоне внутри квадранта. Ширина кольцевой зоны равна 160 пс. Веса отдельных значений V(R) принимались в соответствии с точностью вычисления r по зависимости (2): если расстояние до облака определено по линии поглощения на одной из двух частот, вес принимался равным 1, если по линиям на двух частотах — равным 2. После нахождения среднего взвешенного в каждой кольцевой зоне и его дисперсии  $\sigma$  (рис. 2, вертикальные черточки) в рассмотрении учитывались только значения V(R), уклонения которых от средневзвешенного не превосходят значения 3-. На рисунке представлены средневзвешенные значения таких величин.

Обе кривые в целом повторяют основные закономерности кинематики Галактики в I и IV галактических квадрантах [2], которые будут обсуждаться в следующих разделах. Большая дисперсия значений V(R) во втором квадранте (рис. 2b) по сравнению с первым (рис. 2a) объясняется меньшим массивом значений V(R) в этом квадранте (242 против 740 в первом квадранте). На рис. 3 представлена кривая вращения Галактики, вычисленная таким же способом на основании данных, объединенных из 1 и 2 галактоцентрических квадрантов. Она аппроксимирована полиномом 5-й степени. Здесь же приведены кривые вращения Галактики, определенные по скоростям Н I [7], CO + H I [8], CO [1].



RINTC)

Рис. 3. Кривая вращения по линиям поглощения ОН, полученная на оснозания данных для 1 и 2 галактоцентрических квадрантов (точки). Сплошная линия — аппроксимация полиномом 5-й степени. Приведены также кривые вращения других авторов. — ОН  $R_0 = 10$  кпс — СО + НІ [8]  $R_0 = 10$  кпс — НІ [7]/ $V_0 = 230$  км/с<sup>3</sup> — СО [1]/ $V_0 = 250$  км/с<sup>3</sup>

4. Поведение кривой вращения. На кривой вращения Галактики (рнс. 2) можно выделить три характерные области: а) область галактоцентрических расстояний R < 5 кпс, 6) область 5 < R < 12 кпс, в) область R > 12 кпс. Рассмотрим эти три области в отдельности.

Область а. В ней наблюдается наиболее быстрый подъем скорости вращения, которая нарастает от 50 до ~ 200 км/с. По сравнению с крияыми вращения H I [7] и CO + H I [8] в втой области кривая вращения OH проходит ниже на ~ 50 км/с. Подобное уменьшение скорости вращения к центру Галактики также намечается в кривой вращения [2], определенной на основании всего профиля линии излучения нейтрального водорода (см. рис. 4).

В этой области кривая вращения имеет центральный пик. По расстоянию этого пика от центра Галактики R, можно определить величину R<sub>0</sub>. Оказалось, что при изменении параметра R<sub>0</sub> при вычислениях кривой

#### КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ

вращения, согласно выражению (5), от 7 до 10 кпс величина  $R_p$  систематически возрастает. Так, при  $R_0 = 7$  и 7.5 кпс пик отсутствует (он попадает за центр Галактики) и появляется при  $R_0 = 8$  кпс. При увеличении  $R_0$  до 10 кпс  $R_p$  возрастает до ~ 1.7 кпс. Принимая, что центральный пик кривой вращения находится на расстоянии  $R_p = 0.7$  кпс [8], получаем величину  $R_0 = 8.5$  кпс. Обсуждению задачи определения величины  $R_0$  будет посвящена отдельная работа.



#### RINDC

Рис. 4. Тангенциальные кривые вращения Галактики по данным ОН и СО [8] для одной и той же области Галактики, соответственно, белые кружки и точки. Черные кружки — кривая вращения, получениая с использованием всего профиля линии излучения Н I [2] для I галактического квадранта с учетом расширения.

Область 6. Эдесь скорость кругового движения изменяется более плавно и нарастает от ~ 200 до ~ 260 км/с. На этом участке кривой вращения отмечается наилучшее согласие волноподобного хода кривой вращения ОН с аналогичным поведением кривой вращения СО [8] (штрих-пунктирная кривая на рис. 3). Меньшие значения скоростей кругового движения ОН по сравнению с кривыми вращения Н I [7] и СО+ + Н I [8] объясняются как меньшими значениями  $\omega_0$  (23 км/ с кпс против 25 км/с кпс в работе [8]), так и эффектом использования всего поля лучевых скоростей (см. раздел 5), приводящего к меньшим скоростям вращения по сравнению со скоростями, получаемыми на основании одних максимальных лучевых скоростей в тангенциальных точках.

Область в. Последние исследования кинематики Галактики в область за пределом галактической орбиты Солнца ( $R > R_0$ ), показывают, что кривая вращения здесь продолжает дальнейший рост [1, 2, 9] вплоть до галактоцентрических расстояний R = 20 кпс. При втом значения V(R)

превосходят 300 км/с. Кривая вращения ОН в этой области также покавывает подъем, и на расстоянии  $R \sim 16$  кпс скорость возрастает до 340 км/с. Отметим также, что граднент скорости кривой вращения ОН на этом участке близок к градиенту скорости кривой вращения H I [2]. Такой крутой подъем скорости вращения свидетсльствует о преобладающем твердотельном вращении Галактики в периферийных областях, а, значит, является веским аргументом в пользу наличия у Галактики массивной галактической короны [10].

Таким образом, кривая вращения Галактики, полученная по линиям поглощения ОН, в целом повторяет закономерности поведения кривых вращения, полученных по другим молекулам с использованием разиых способов.

Как уже отмечалось, вблизи галактического центра скорость вращения кривой ОН меньше скоростей, полученных из кинематики Н I и СО [7, 8]. В этом случае обратим внимание на то, что сравниваемые кривые вращения определены не только по скоростям разных молекул, но также для разных областей Галактики. Так, если кривая вращения ОН получена для всего галактоцентрического квадранта (1 или 2) и при этом использовалось все поле лучевых скоростей, то кривые вращения [7, 8] фактически определены только для небольшого участка квадранта — узкого коридора тангенциальных точек, и при этом использовались только максимельные лучевые скорости в каждом напревлении. Результаты, получаемые на основании всего профиля радиолинии нейтрального водорода [2], также показывают меньшие значения скорости вращения и более крутое убывание скорости к центру Галактики по сравнению с кривыми вращения [7, 8]. Как будет видно из дальнейшего, отмеченные расхождения связаны с эффектом выборки лучевых скоростей и влиянием радиального расширения газа в Галактике.

5. Тангенциальная кривая вращения ОН. Будем называть тангенциальной кривой вращения Галактики кривую изменения скорости вращения в коридоре геометрического места тангенциальных точек, в которых радиус-вектор  $r_i$  касателен к галактоцентрическим окружностям радиуса R. Центральная линия такого коридора определяется выражением  $r_i = R_0 \cdot \cos l$ .

Для построения тангенциальной кривой вращения OH из массива данных V(R) первого галактоцентрического квадранта были выделены те значения  $V_K(R)$ , которые характеризуют движение облаков, находящихся в таком тангенциальном коридоре определенной ширины. С учетом возможных ошибок при вычислении  $r_i$  по зависимости D(r) и для обеспечения представительности значений  $V_K(R)$  в радиальных кольцевых зонах (как и прежде. с шириной 160 пс) полуширина коридора по лучу зрения была принята равной 1.25 кпс. Затем, как и в методе получения кризой вращения по максимальным скоростям в тангенциальных точках, из значений  $V_K(R)$  в каждой кольцевой зоне были выбраны значения  $V^t(R) =$ = max  $V_K(R)$ , которые и описывают тангенциальную кривую вращения OH. Ее значения представлены на рис. 4 белыми кружками. Здесь же точками изображена кривая вращения, построенная по тангенциальным значениям скоростей СО ([8], рис. 2). Черными кружками на рисунке показана кривая вращения H I, построенная на основании данных работы [2] для первого галактического квадранта с учетом расширения. Для всех этих кривых принято  $R_0 = 10$  кпс и  $\omega_0 = 23$  км/с кпс.

Проводя сравнение с данными СО, следует обратить внимание, что на долготах  $l < 20^{\circ}$  основная часть излучающего газа показывает падение лучевой скорости с уменьшением долготы, и только небольшая доля облаков наблюдается на высоких лучевых скоростях [8]. В результате на кривой вращения СО на расстояниях меньше 4 кпс получаются две ветви: одна ветвь связана с основной массой излучающего газа, показывая уменьшение скорости вращения к центру, и вторая соответствует меньшей доле высокоскоростных облаков, приводящих скорости вращения на плато при значении около 200 км/с. Из рис. 4 видно, ято в диапазоне расстояний 2—10 кпс тангенциальная кривая вращения ОН хорошо согласуется с кривой вращения СО, соотвествующей основной массе излучающего газа.

Полученная нами кривая вращения ОН также хорошо согласуется с данными работы [2], где кривая вращения Галактики построена по всему профилю линии излучения нейтрального водорода на основании метода, разработанного в работе [11].

Полученный результат также можно рассматривать как доказательство эффективности использования величины D(r) для определения расстояний до молекулярных облаков в Галактике.

6. Масса Галактики. На основании полученной кривой вращения оценим массу Галактики, следуя работе [12]. Для гравитационного потенциала диска Тумре с индексом n = 0 скорость вращения определяется выражением

$$V_{1}(R) = C_{1} \left[ 1 + a^{2}/R^{2} + (a/R) \left( 1 + a^{2}/R^{2} \right)^{1/2} \right]^{-1/2}$$
(6)

и масса диска внутри раднуса R

$$M(R) = (C_1^2 \cdot R/G) \left[ (1 + a^2/R^2)^{1/2} - a/R \right].$$
(7)

Здесь  $G_1$  — гравитационная постоянная, константы  $C_1$  и а определялись подбором при аппроксимации кривой вращения ОН (рис. 3) выражением

(6) методом наименьших квадратов. Полученные значения равны  $C_1 = = 392$  км/с и a = 7.0 кпс.

Поскольку кривая вращения получена нами до расстояний  $R \sim 16$  кпс, то можно уверенно судить по ней о массе диска Галактики, заключенной в объеме с данным радиусом. Тогда M (16 кпс) =  $3.7 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ . Принимая. что выражение (6) описывает кривую вращения Галактики до расстояний 100 кпс, получим оценку массы Галактики в этих пределах: M (100 кпс) = = $3 \cdot 10^{19} M_{\odot}$ . На рис. 5 сплошной линией изображено распределение массы в Галактике по данным кривой вращения ОН. Здесь же точками отмечены отдельные определения массы внутри соответствующих радиусов согласно работе [13]. Видно, что проведенная экстраполяция кривой вращения до больших расстояний хорошо согласуется с другими определениями массы Галактики.



Рис. 5. Масса Галактики внутри раднуса *R* (сплошная линия) по данным кривой вращения ОН, изображенной на рис. 3. Кружки с вертикальными черточками (их дисперсия) — отдельные определения массы согласно работе [13].

Таким образом, изучение закономерностей вращения Галактики на основании данных для облаков ОН приводит к выводу, что в Галактике должно присутствовать большое количество темного вещества, масса которого в 10 раз превышает массу видимой материи.

7. Основные выводы: 1) Построена кривая вращения Галактики в диапазоне галактоцентрических расстояний до 16 кпс с использованием зависимости величины  $D = (\Delta v^2/T_A)^{1/3}$  от расстояния. Полученная кривая вращения содержит все главные особенности, имеющиеся на кривых вращения Галактики, определенных по другим молекулам. Этот результат можно рассматривать как еще одно обоснование эффективности использования предложенного метода определения расстояний до молекулярных облаков в Галактике.

### КРИВАЯ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИКИ

2) Показано, что кривая вращения ОН хорошо согласуется с результатами определения скоростей вращения Галактики по линиям излучения СО и Н І. Следует подчеркнуть, что в рассмотренном нами способе построения тангенциальной кривой вращения получаемые скорости не подвержены влиянию радиальных движений газа, которые могут быть особенно существенны в центральных частях Галактики. Действительно, в тангенциальных точках направление скорости расширения перпендикулярно лучу зрения, поэтому она не вносит вклад в определяемую скорость вращения. С другой стороны, нетрудно показать, что радиальные движения могут только уменьшить относительно действительных величины скоростей вращения, получаемых при помощи зависимости D(r) во внутренних частях первого галактоцентрического квадранта. В то же время обычно применяемые методы определения кривой вращения Галактики приво-ДЯТ К ЗАВЫШЕННЫМ СКОРОСТЯМ, КОТОРЫЕ НУЖДАЮТСЯ В ПОПОАВКАХ ЗА ВТОТ эффект. Это обосновывает целесообразность проведенного сравнения кривой вращения ОН с исправленными за расширение кривыми вращения Галактики из работ [2, 7].

3) На кривой вращения, полученной по скоростям облаков ОН, выявляется центральный пик скорости, положение которого в нашем методе определения V(R) зависит от принимаемого галактоцентрического расстояния Солнца  $R_0$ . Показано, что согласующиеся результаты получаются при  $R_0 \sim 8.5$  кпс.

4) При  $R > R_0$  кривая вращения продолжает возрастать, достигая на расстоянии 6 кпс от Солнца скорости 340 км/с. Это обстоятельство свидетельствует о наличии массивного темного гало в Галактике. Как показано в работе [14], увеличение скорости вращения с расстоянием за пределами орбиты Солнца может быть частично объяснено радиальными движениями газа. Исключая эти скорости, можно получить на больших расстояниях плоскую кривую вращения, подобную наблюдаемым в других спиральных галактиках [15].

5) Получено распределение массы в Галактике, исходя из кривой вращения ОН. Показано, что если полученный вид кривой вращения сохранится до расстсяния 100 кпс, то масса Галактики внутри втого радиуса будет равна  $3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ . Этот вывод согласуется с различными определениями массы по шаровым скоплениям и ближайшим галактикам.

Выражаем благодарность Я. Э. Эйнасто за обсуждение результатов и. предоставленную возможность познакомиться с работой У. А. Хауда [14] до ее опубликования.

Главвая астрономическая обсерватория АН УССР

#### И. Г. КОЛЕСНИК, Л. В. ЮРЕВИЧ

## THE GALACTIC ROTATION CURVE FROM OH SURVEY

#### I. G. KOLESNIK, L. V. YUREVICH

The Galactic rotation curve up to 16 kpc has been determined using the relation between parameters of OH molecular absorption features of the clouds and distance to the clouds. The data are presented separately for the galactocentric quadrants adjacent along the line connecting the Galactic center and the Sun. The rotation curve obtained follows kinematic behaviour of the Galaxy which has been determined from other interstellar molecules thus demonstrating the effective determination of distances to the molecular clouds in the Galaxy on the basis of observed hydroxyl absorption features. From the position of the central peak in the rotation curve the Sun galactocentric distance was estimated to be ~8.5 kpc. The mass of the Galaxy interior to 100 kpc from the Galactic center is ~3.10<sup>12</sup> M<sub>☉</sub>, as was derived from the rotational velocity distribution.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. L. Blitz, Ap. J., 231, L 115, 1979.
- 2. Н. К. Бектасова, И. В. Петровская, Труды АО ЛГУ, 38, 127, 1983.
- 3. B. E. Turner, Astron. Astrophys., Suppl. ser., 37, 1, 1979.
- 4. И. Г. Колесник, Л. В. Юревич, Астрофизика, 19, 761, 1983.
- 5. Л. В. Юревич, Тезисы докладов конференции «Структура галактик и звездообразование», Киев, 1983, стр. 20.
- 6. П. Г. Куликовский, Эвездная астрономия, Наука, М., 1978.
- 7. У. А. Хауд, Письма АЖ, 5, 124, 1979.
- 8. W. B. Burton, M. A. Gordon, Astron. Astrophys., 63, 7, 1978.
- P. D. Jackson. M. P. FitzGerald, A. F. J. Moffat, IAU Symp. No. 84, The Large-Scale Characteristics of the Galaxy. ed. W. B. Burton, Dordrecht, Reidel, 1979.
- 10. D. Downes, R. Gusten, Mitt. Astron, Ges., 57, 207, 1982.
- 11. Т. А. Азекян, И. В. Петровская, Б. И. Фесенко, Астрон. ж., 41, 1027, 1964.
- S. T. Gottsman J. H. Hunter, Jr., J. B. Ball, IAU Symp. No. 100. Internal Kinematics and Dynamics of Galaxies, ed. E. Athanassoula, Dordrecht, Reidel, 1983.
- 13. S. M. Faber, J. S. Gallagher. Ann. Rev. Astron. Astrophys., 17, 135, 1979.
- 14. U. A. Haud, Astrophys. Space Sci., 104, 337, 1984.
- V. C. Rubin, IAU Symp. No. 100, Internal Kinematics and Dynamics of Galaxies, ed. E. Athanassoula, Dordrecht, Reidel, 1983.