

УДК 524.74; 524.7–3

МАССЫ ИЗОЛИРОВАННЫХ СПИРАЛЬНЫХ KIG-ГАЛАКТИК, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ПО ДВИЖЕНИЯМ ИХ СЛАБЫХ СПУТНИКОВ

© 2021 В. Е. Караченцева^{1*}, И. Д. Караченцев², О. В. Мельник¹¹Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Киев, 03143 Украина²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 4 августа 2021 года; после доработки 6 сентября 2021 года; принята к публикации 6 сентября 2021 года

Мы обновили классификацию галактик поздних типов, представленных в Каталоге Изолированных Галактик (KIG), используя современные цифровые обзоры неба. Предпринятый нами поиск спутников вокруг 959 KIG-галактик выявил 141 соседа, ассоциирующегося со 111 KIG-галактиками в пределах взаимного проекционного расстояния менее 330 кпк и разности лучевых скоростей менее 500 км с^{-1} . Типичная светимость спутников оказалась слабее светимости главных галактик более чем на порядок. Рассматривая эти мелкие спутники как пробные частицы, которые движутся вокруг KIG-галактик по кеплеровским орбитам с эксцентриситетом $e \simeq 0.7$, мы оценили полные (орбитальные) массы спиральных KIG-галактик. Среднее отношение орбитальной массы к K -светимости для них, $(20.9 \pm 3.1)M_{\odot}/L_{\odot}$, находится в хорошем согласии с соответствующей величиной для близких массивных спиралей типа Млечного Пути, M 31 и M 81. Изолированные дискообразные галактики имеют отношение полной массы к звездной массе в среднем в 2–3 раза меньше, чем изолированные балджеобразные галактики.

Ключевые слова: *галактики: изолированные — галактики: поздних типов — галактики: орбитальные массы*

1. ВВЕДЕНИЕ

Наличие во Вселенной темной материи (DM) является сейчас общепризнанной основой стандартной космологической модели Λ CDM. Согласно современным представлениям, каждая галактика формируется внутри гало темной материи (Wechsler and Tinker 2018). Однако, до сих пор остается неясной физическая природа темной материи (см. доклад Rubin (1986) на XIX съезде IAU). Достаточно уверенно можно утверждать, что DM составляет основную часть общей массы Вселенной (Fukugita and Peebles 2004, Bahcall 2015). Историко-философские рассуждения о природе DM представлены в недавней работе Schombert (2021).

Не касаясь истории вопроса и многочисленных работ по DM в скоплениях и в группах галактик, упомянем несколько статей, описывающих DM вокруг отдельных галактик. О том, что галактики окружены массивными темными гало, одними из первых написали Einasto et al. (1974), White and Rees (1978), Frenk and White (1980). Согласно

White and Frenk (1991), темные гало играют фундаментальную роль в формировании и эволюции галактик.

Перечислим несколько пионерских наблюдательных работ, относящихся к данной тематике. Lynden-Bell and Frenk (1981) предложили использовать кинематику шаровых скоплений (GC) для определения полной массы нашей Галактики. В своей работе Lynden-Bell et al. (1983) использовали измерения лучевых скоростей углеродных звезд и планетарных туманностей, а также карликовых спутников нашей Галактики, и оценили динамическую массу Галактики в пределах 100 кпк. Rubin et al. (1978; 1980, и цитированная там литература) по наблюдениям кривых вращения (RC) у спиральных галактик сделали вывод, что плоские либо возрастающие RC свидетельствуют о наличии протяженного темного гало вокруг этих галактик. Позднее Lapi et al. (2018), Marasco et al. (2021), Posti and Fall (2021) использовали различные сводки наблюдений RC и GC для определения скрытой массы вокруг нескольких сотен одиночных галактик. Авторы отмечают, что вычисления массы DM были выполнены для галактик как поздних типов (LTG), так и ранних типов (ETG).

Zaritsky and White (1994), Zaritsky et al.

*E-mail: valkarach@gmail.com

(1993; 1997) предприняли поиск слабых спутников вокруг одиночных спиральных галактик, измерили лучевые скорости спутников и определили динамические массы центральных галактик на масштабе вириального радиуса их темного гало. Аналогичный анализ кинематики спутников вокруг одиночных галактик в цифровом обзоре неба Sloan Digital Sky Survey (SDSS DR10, Ahn et al. (2014)) был выполнен More et al. (2011), Seo et al. (2020), Wang et al. (2021). Поиск слабых спутников вокруг близких массивных галактик был продолжен Smircina et al. (2018), Carlsten et al. (2020). После определения расстояний до найденных спутников, измерения их лучевых скоростей и исключения не физических соседей оставшиеся спутники могут быть использованы для вычисления массы гало вокруг центральных галактик. Многочисленные наблюдательные, теоретические статьи и особенно работы по численному моделированию этой задачи рассмотрены, например, в обзоре Wechsler and Tinker (2018).

В работе Karachentseva et al. (2011) были сделаны оценки массы у изолированных галактик каталога 2MIG (Karachentseva et al. 2010) по лучевым скоростям их мелких спутников. Было получено, что медианное отношение «масса/светимость в K -полосе» для LTG-галактик (поздние типы) в 3 раза меньше, чем таковое для галактик ETG (ранние типы). Karachentseva et al. (2021) вычислили отношение полной массы M_T к звездной массе M_* у изолированных E и S0 галактик каталога KIG (Karachentseva 1973), используя данные о лучевых скоростях галактик-спутников. Результаты для 2MIG и KIG галактик в хорошем взаимном согласии. Как продолжение предыдущей работы, здесь мы определяем отношение полной массы к звездной у изолированных спиральных галактик (LTG) каталога KIG. Сравнение масс темных гало у галактик ранних и поздних типов подтверждают наши ранние результаты и таковые, полученные другими авторами, — темные гало изолированных галактик ранних типов оказываются в 2–3 раза массивнее, чем у спиральных галактик той же звездной массы.

Структура статьи следующая. В разделе 2 мы приводим результаты поиска спутников у спиральных галактик каталога KIG. Основные наблюдаемые и вычисленные характеристики LTG-галактик и их спутников даны в таблице 1 (Приложение). В разделе 3 мы описываем способ оценки светимости спиральных галактик KIG в K -полосе. В разделе 4 приведены формулы для оценки орбитальных масс LTG-галактик. Заключительные замечания даны в разделе 5.

2. ПОИСК СПУТНИКОВ ВОКРУГ ИЗОЛИРОВАННЫХ LTG-ГАЛАКТИК

В нашей предыдущей статье (Karachentseva et al. 2021) мы выполнили новую морфологическую классификацию изолированных галактик ранних типов (E, S0) из KIG каталога, основываясь на данных современных цифровых обзоров неба. При этом значительная часть галактик, 74 из 165 или 45%, перешла в категорию спиральных галактик. Аналогичный подход был использован нами для уточнения классификации 885 KIG-галактик поздних типов. Среди них 5 галактик: KIG 358, 533, 644, 782 и 952 были переклассифицированы в типы E, S0.

Используя опцию NED, мы предприняли поиски спутников вокруг 954 KIG-галактик поздних типов. В результате было получено, что 52% из них имеют мелких соседей с проекционным расстоянием между спутником и основной галактикой $R_p < 750$ кпк и взаимной разностью лучевых скоростей менее 500 км с^{-1} . Заметим, что отбор галактик в KIG-каталог по условию их изолированности применялся к галактикам в каталоге Zwicky et al. (1961) с видимой фотографической величиной ярче 15^m7 и склонением севернее $-2^\circ5$. Для вычисления орбитальных масс мы ограничились значением $R_p < 330$ кпк, которое приблизительно соответствует вириальному радиусу типичной KIG-галактики, сохраняя условие для разности лучевых скоростей $|\Delta V| < 500 \text{ км с}^{-1}$. При этом мы исключили близкие KIG-галактики с лучевыми скоростями меньше 1500 км с^{-1} , чтобы избежать ошибок в оценке хаббловских расстояний из-за влияния пекулярных движений в Местном сверхскоплении.

Основные данные о KIG-галактиках со спутниками представлены в таблице 1 в Приложении. Содержание столбцов таблицы следующее: (1) — имя галактики в LEDA или NED; (2) — морфологический тип галактики в цифровой системе, определенный нами по обзору PanSTARRS-1; (3) — интегральная видимая B -величина из LEDA, b_t ; числа с десятичными знаками относятся к нашим визуальным оценкам; (4) — интегральная видимая величина в K -полосе из LEDA; (5) — интегральная K -величина, определенная по B -величине и морфологическому типу (см. раздел 3); (6), (7) — лучевая скорость относительно центра Местной группы и ее погрешность в км с^{-1} , взятые из NED, с дополнением для спутника KIG 853 из (Melnyk et al. 2009); (8) — разность лучевых скоростей спутника и галактики KIG; (9) — модуль расстояния (modbest) в звездных величинах из LEDA; (10) — проекционное расстояние R_p , в кпк, между спутником и KIG-галактикой в предположении, что расстояние спутника такое же, как

у галактики KIG; (11) — логарифм K -светимости KIG-галактики, выраженной в единицах светимости Солнца; (12) — логарифм оценки орбитальной массы галактики KIG в единицах массы Солнца (см. раздел 4); (13) — разность логарифмов орбитальной массы и K -светимости.

На рис. 1 приведена гистограмма распределения галактик по разности звездных величин между спутником и галактикой KIG из таблицы 1. Средняя разность видимых величин равна $\Delta B = 2^m94 \pm 0^m15$. Наличие таких слабых спутников не нарушает принятое условие изолированности. Хотя в нескольких случаях (например, KIG 237 и CGCG 263-017) видимая величина удаленного соседа оказалась сравнимой с видимой величиной KIG-галактики. В общем, обнаруженные спутники могут рассматриваться как пробные частицы, которые совершают кеплеровские движения вокруг массивного центрального тела.

На рис. 2 представлено распределение спиральных KIG-галактик и их спутников по модулю разности лучевых скоростей и абсолютной B -величине главной галактики. Медианные значения этих параметров составляют, соответственно, 101 км с^{-1} и -20^m6 , что является типичным для групп вокруг близких массивных спиралей подобных нашей Галактике, M31 и M81. Разность лучевых скоростей показывает слабую тенденцию уменьшения при понижении светимости KIG-галактик с линией регрессии $|dV| = -5.86M_B + 19.96$ и коэффициентом корреляции $R = -0.057$. Наличие этой корреляции отражает тот факт, что пространственная скорость спутников тем выше, чем больше масса центральной галактики. Однако, эта ожидаемая зависимость размывается из-за эффекта проекции скорости спутника на луч зрения.

Рисунок 3 демонстрирует соотношение между модулем разности лучевой скорости спутника относительно KIG-галактики и проекционным расстоянием между ними R_p . Около 90% спутников имеют разность лучевых скоростей менее 250 км с^{-1} , что соответствует типичной амплитуде вращения у массивных спиралей. Значения $|dV|$ и R_p у 141 спутника вокруг 111 спиральных KIG-галактик были использованы нами для вычисления полных (орбитальных) масс KIG-галактик в разделе 4.

3. СВИТИМОСТЬ СПИРАЛЬНЫХ KIG-ГАЛАКТИК В K -ПОЛОСЕ

Важной динамической характеристикой галактики является отношение ее интегральной звездной массы M^* к полной массе M_T , основной

вклад в которую вносит масса темного гало. В качестве оптимальной оценки M^* обычно используют интегральную светимость галактики в K_s -полосе, L_K . Согласно Bell et al. (2003), светимость L_K прямо соответствует звездной массе: $M^*/L_K = 1.0M_\odot/L_\odot$. Более поздние исследования отдают предпочтение несколько меньшему коэффициенту пропорциональности, $0.6M_\odot/L_\odot$ (Lelli et al. 2016).

Для множества галактик, распределенных по всему небу, видимые величины K_s были измерены в обзоре 2MASS (Skrutskie et al. 2006). Lyon Extragalactic Database=LEDA (Makarov et al. 2014) содержит видимые величины галактик K_t . Основу их составляют данные 2MASS-обзора, дополненные, где имелись, оценками K -величин из других источников. Как известно (Jarrett 2000), из-за коротких экспозиций 2MASS-обзор является неглубоким и теряет поток от периферийных областей галактик, особенно имеющих голубоватый цвет. Недооценка потока у галактик поздних типов может быть значительной. По этой причине Jarrett et al. (2003) предложили оценивать K -величину галактики по ее B -величине и среднему показателю цвета $\langle B - K \rangle = 4.60 - 0.25 \times T$, зависящему от морфологического типа $T = 2, 3...9$ в шкале de Vaucouleurs. Для галактик ранних типов $T < 2$ значение $\langle B - K \rangle$ принималось равным 4.10.

Определенные таким образом K -величины мы обозначаем как K_B . Соотношение между K_B и K_t из LEDA для KIG-галактик, имеющих спутники, представлено на рис. 4. К спиральным галактикам добавлены 18 E и S0 галактик из нашей предыдущей статьи (Karachentseva et al. 2021), отмеченные крестами. Как следует из этих данных, галактики ранних типов располагаются вблизи диагональной линии $K_t = K_B$ (пунктир), имея среднее значение $\langle K_t - K_B \rangle = 0^m15 \pm 0^m06$ и дисперсию $\sigma(K_t - K_B) = 0^m24$. У спиральных KIG-галактик K_B -величины оказываются систематически ярче, чем K_t -величины, следуя линии регрессии

$$K_t = (1.03 \pm 0.06) \times K_B + 0.44 \pm 0.62.$$

Как видно на рисунке, разность величин $K_t - K_B$ и ее дисперсия показывают тенденцию возрастать от ярких галактик к слабым. Средняя разность $\langle K_t - K_B \rangle$ для галактик поздних типов составляет $+0^m71 \pm 0^m07$. Данные о B -величинах взяты нами из LEDA с поправками LEDA за Галактическое и внутреннее поглощение. Следует заметить при этом, что величина внутреннего поглощения по алгоритму LEDA представляется нам несколько завышенной, особенно для галактик низкой светимости (Melnyk et al. 2017). Это обстоятельство позволяет объяснить часть наблюдаемой систематической разницы между K_B и K_t .

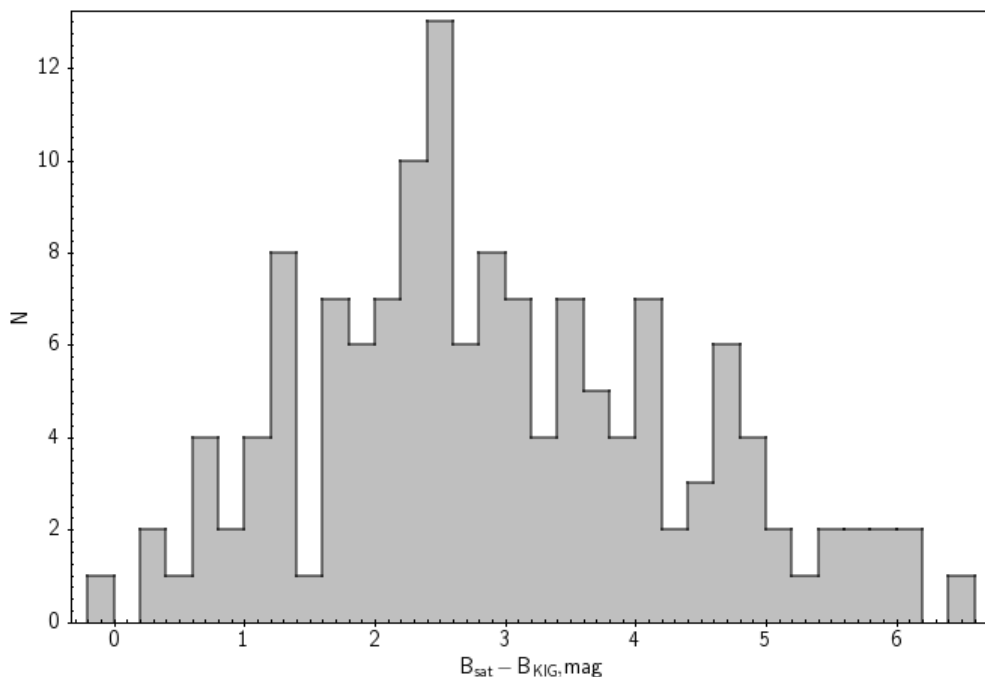


Рис. 1. Гистограмма распределения галактик из таблицы 1 по разности звездных величин между спутником и галактикой KIG. Средняя разность видимых величин равна $\Delta B = 2^m94 \pm 0^m15$.

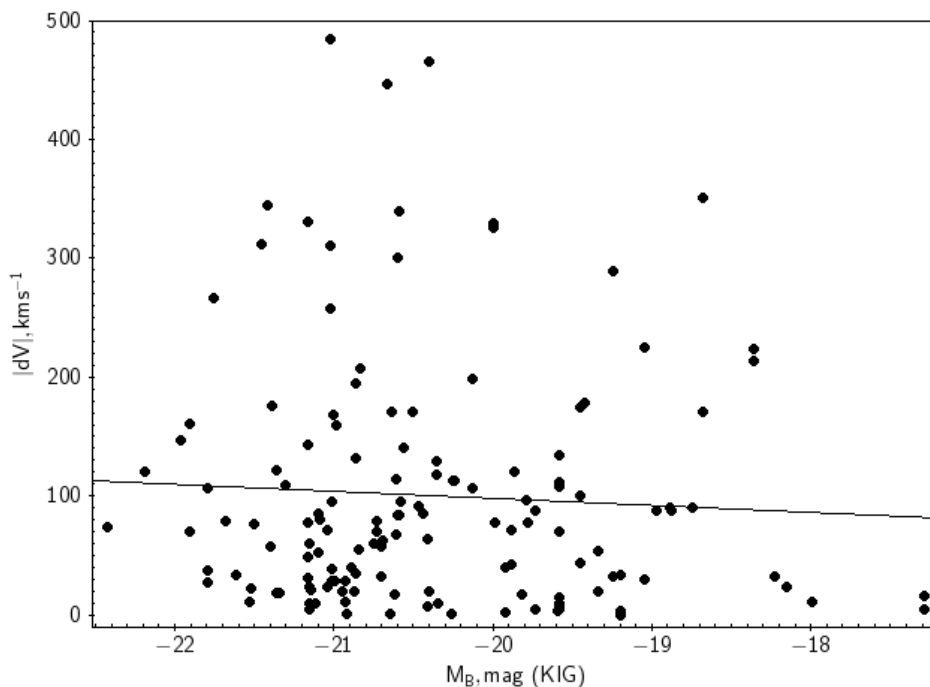


Рис. 2. Модуль разности лучевых скоростей «спутник–галактика KIG» в зависимости от абсолютной величины KIG-галактики. Линия регрессии (прямая) выражается как $|dV| = -5.86M_B (KIG) + 19.96$; коэффициент корреляции $R = -0.057$.

4. ОЦЕНКА ОРБИТАЛЬНОЙ МАССЫ ДЛЯ KIG-ГАЛАКТИК ПОЗДНИХ ТИПОВ

При наличии ансамбля пробных частиц вокруг компактного аттрактора оценка его массы, M , по

орбитальным движениям спутников может быть выражена как

$$M_{\text{orb}} = \langle \eta_e \rangle^{-1} G^{-1} \langle \Delta V^2 \times R_p \rangle, \quad (1)$$

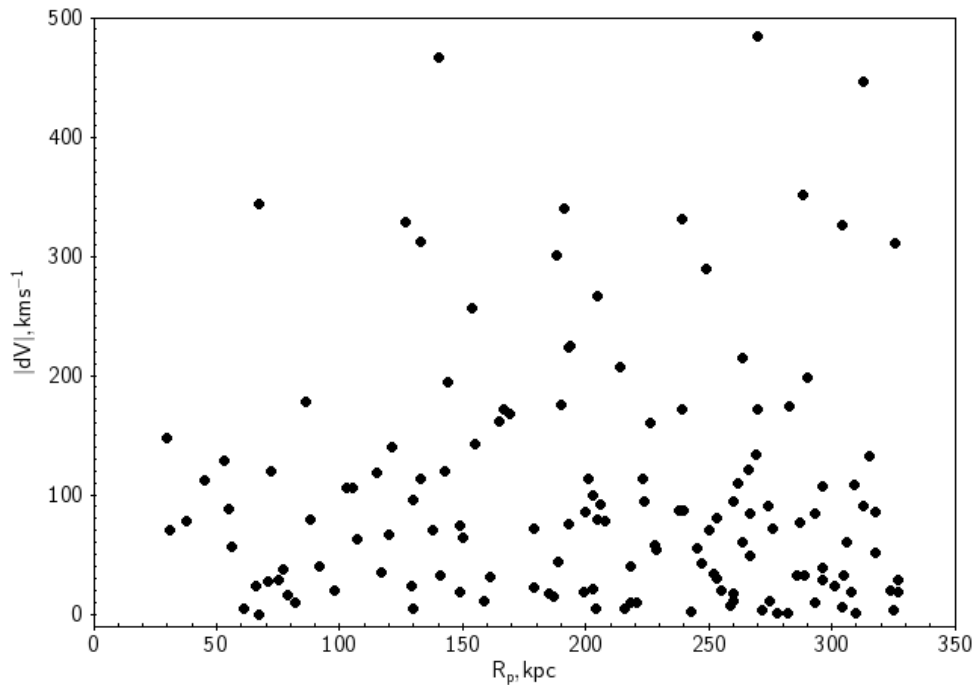


Рис. 3. Соотношение между модулем разности лучевых скоростей «спутник–галактика КИГ» и проекционным расстоянием R_p между спутником и КИГ-галактикой.

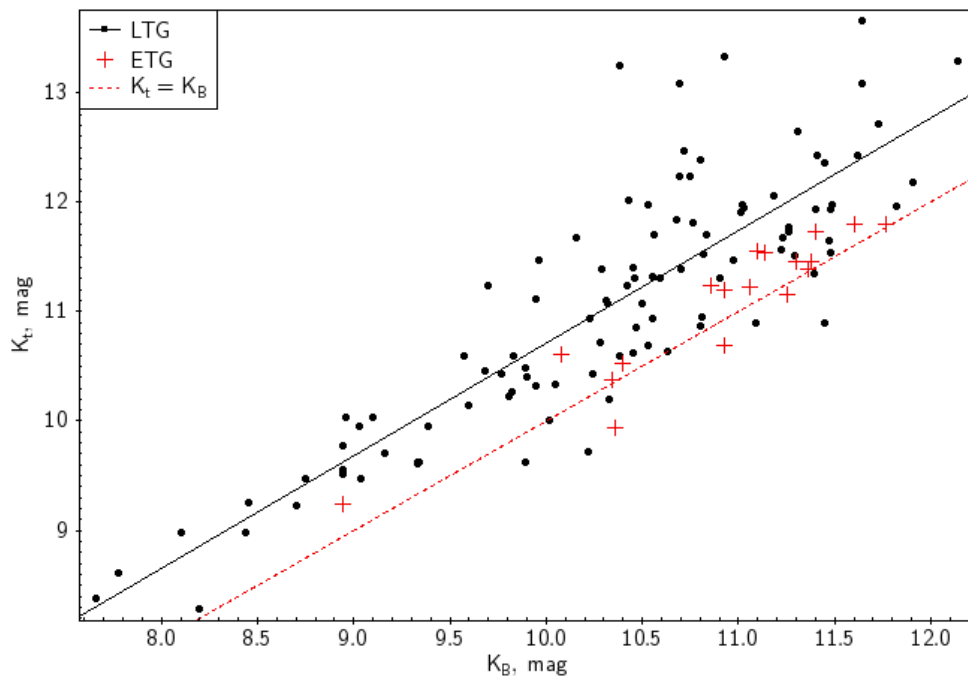


Рис. 4. Соотношение между видимыми величинами K_B и K_t для КИГ-галактик. Кружками обозначены галактики поздних типов, крестиками — ранних (из статьи Kagalchentseva et al. (2021)). Пунктир соответствует равенству звездных величин $K_B = K_t$. Сплошная линия описывает регрессию $K_t = (1.03 \pm 0.66)K_B + (0.44 \pm 0.62)$. Коэффициент корреляции $R = 0.86$.

где G — постоянная тяготения, ΔV — разность лучевых скоростей спутника и центрального объекта, R_p — их линейное проекционное расстояние, а $\langle \eta_e \rangle$ — среднее значение безразмерного фактора проекции, которое зависит от эксцентриситета орбиты спутников. В случае эллиптических кеплеровских движений с эксцентриситетом орбиты e фактор проекции имеет вид

$$\eta_e(i, \Omega, \omega) = \sin^2 i [1 - \sin^2 i \sin^2 \Omega]^{1/2} \times [e \cos(\Omega - \omega) + \cos \Omega]^2 (1 + e \cos \omega)^{-1}. \quad (2)$$

Здесь ω означает угол между большой осью орбиты и линией узлов, Ω — угол между линией, соединяющей объекты, и линией узлов, а i — угол наклона плоскости орбиты к картинной плоскости. При хаотичной ориентации орбит спутников плотность распределения трех углов есть

$$P_e(i, \Omega, \omega) = (1 - e^2)^{1/2} \times \sin i (1 + e \cos \omega)^2 / 4\pi^2, \quad (3)$$

где $[0 \leq i \leq \pi/2, 0 \leq \Omega \leq 2\pi, 0 \leq \omega \leq 2\pi]$. Тогда, согласно Karachentsev (1987),

$$\langle \eta_e \rangle = (3\pi/32)(1 - 2e^2/3), \quad (4)$$

$$\langle \eta_e^2 \rangle = (6/35)(1 - 5e^2/6). \quad (5)$$

Моделирование орбит спутников массивной галактики, выполненное Barber et al. (2014), показало, что для ансамбля орбит можно принять значение $\langle e^2 \rangle = 1/2$. Тогда оценка орбитальной массы центральной галактики имеет вид

$$M_{\text{orb}} = (16/\pi)G^{-1} \langle \Delta V^2 R_p \rangle = 1.18 \times 10^6 \langle \Delta V^2 R_p \rangle, \quad (6)$$

где ΔV выражено в км с^{-1} , R_p — в кпк, а масса — в единицах массы Солнца. Индивидуальные значения M_{orb} , полученные по разности лучевых скоростей и проекционному расстоянию 141 спутника, представлены в Приложении (в таблице 1).

Интегральная светимость KIG-галактик в K -полосе определялась нами по видимым K_B -величинам

$$\lg(L_K/L_\odot) = 0.4(3.28 + \mu - K_B), \quad (7)$$

где μ — модуль расстояния галактики («modbest»), приведенный в LEDA, а 3.28 — абсолютная звездная величина Солнца в K -полосе. Для галактик за пределами Местного сверхскопления модуль расстояния примерно соответствует параметру Хаббла $H_0 = 70 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$.

Распределение KIG-галактик по значениям орбитальной массы и интегральной K -светимости приведено на рис. 5. Пустыми кружками в верхней

части рисунка изображены объекты с аномально большим отношением $M_{\text{orb}}/L_K > 250M_\odot/L_\odot$ (см. ниже). Рисунок иллюстрирует наличие положительной корреляции между M_{orb} и L_K , которая описывается линейной регрессией $\lg(M_{\text{orb}}/M_\odot) = (0.77 \pm 0.21) \lg(L_K/L_\odot) + 3.15 \pm 2.28$ (без учета аномальных случаев). Зависимость между орбитальной и звездной массами подвержена большой дисперсии из-за эффекта геометрической проекции. Медианные значения обоих параметров для нашей выборки составляют приблизительно $1.0 \times 10^{12}M_\odot$ и $1.0 \times 10^{11}L_\odot$, что сопоставимо с массой и светимостью Млечного Пути и Андромеды (M31).

Гистограмма на рис. 6 (черная линия) представляет распределение KIG-галактик по величине отношения M_{orb}/L_K в логарифмической шкале. Распределение простирается на 6 порядков и выглядит асимметричным с максимумом около $15M_\odot/L_\odot$. Чтобы оценить роль эффекта проекции, влияющего на вид распределения $N[\lg(M_{\text{orb}}/L_K)]$, мы воспользовались выражениями для фактора проекции η и плотности его вероятности $p(\eta)$, указанными выше. Красная гистограмма на рисунке показывает ожидаемое распределение оценок M_{orb}/L_K при фиксированном эксцентриситете орбит спутников $e = 1/\sqrt{2} \simeq 0.7$ и фиксированном отношении $M_T/L_K = 25M_\odot/L_\odot$. Оно было построено методом случайных испытаний. Моделированное распределение имеет асимметрию, похожую на асимметрию наблюдаемого распределения, но более острый пик в максимуме. При этом максимальное моделированное значение составляет $M_{\text{orb}}/L_K = 128M_\odot/L_\odot$. Предполагая наличие дисперсии в значениях M_T/L_K у KIG-галактик, $\sigma[\lg(M_T/L_K)] \simeq 0.3$, мы можем достичь лучшего соответствия моделированного и наблюдаемого распределений в области пика. Однако, в области значений $M_{\text{orb}}/L_K > 250M_\odot/L_\odot$ существенное рассогласование остается. Очевидной причиной его является примесь фиктивных систем, образуемых KIG-галактиками и карликами, которые принадлежат диффузным элементам крупномасштабной структуры Вселенной типа филаментов. Примером могут служить пары KIG 32+KIG 34, KIG 56+KIG 60, где KIG-галактики ассоциируются друг с другом по координатам и лучевым скоростям. Относительное число таких случаев невелико, $17/141 \simeq 12\%$, но их вклад в оценку средней массы оказывается существенным. Исключая системы с $M_{\text{orb}}/L_K > 250M_\odot/L_\odot$, как не физические пары, мы получаем для спиральных KIG-галактик среднее значение $\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle = (20.9 \pm 3.1)M_\odot/L_\odot$.

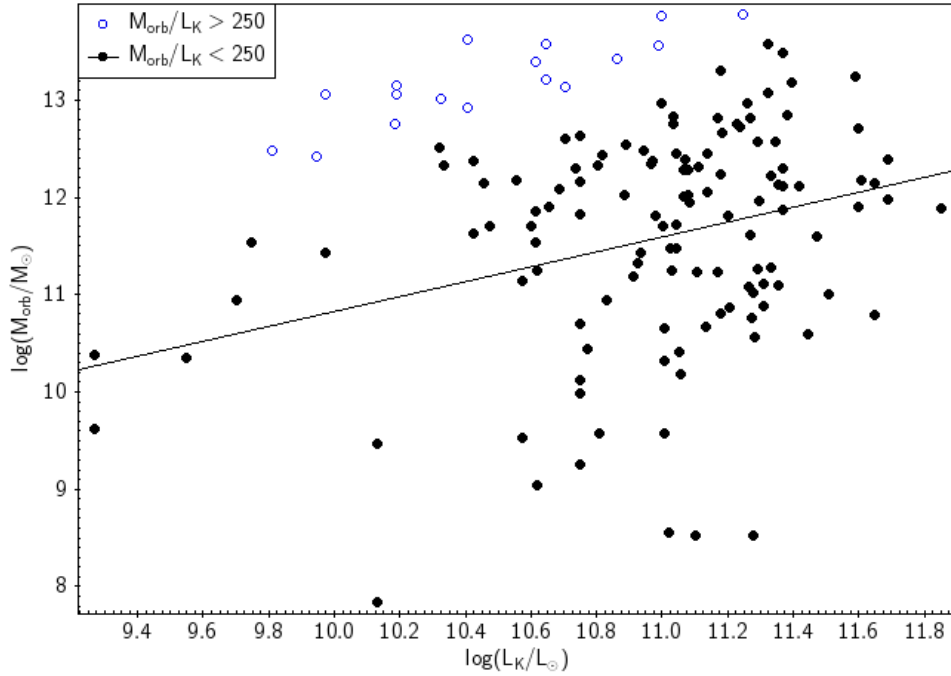


Рис. 5. Связь в логарифмической шкале между M_{orb} и L_K . Незаполненные кружки относятся к KIG-галактикам с отношением $M_{orb}/L_K > 250$ в солнечных единицах, которые предположительно входят в состав диффузных филаментов и групп. Для остальных галактик имеет место положительная корреляция $\lg(M_{orb}/M_{\odot}) = (0.77 \pm 0.21) \lg(L_K/L_{\odot}) + 3.15 \pm 2.28$ с коэффициентом корреляции $R = 0.32$.

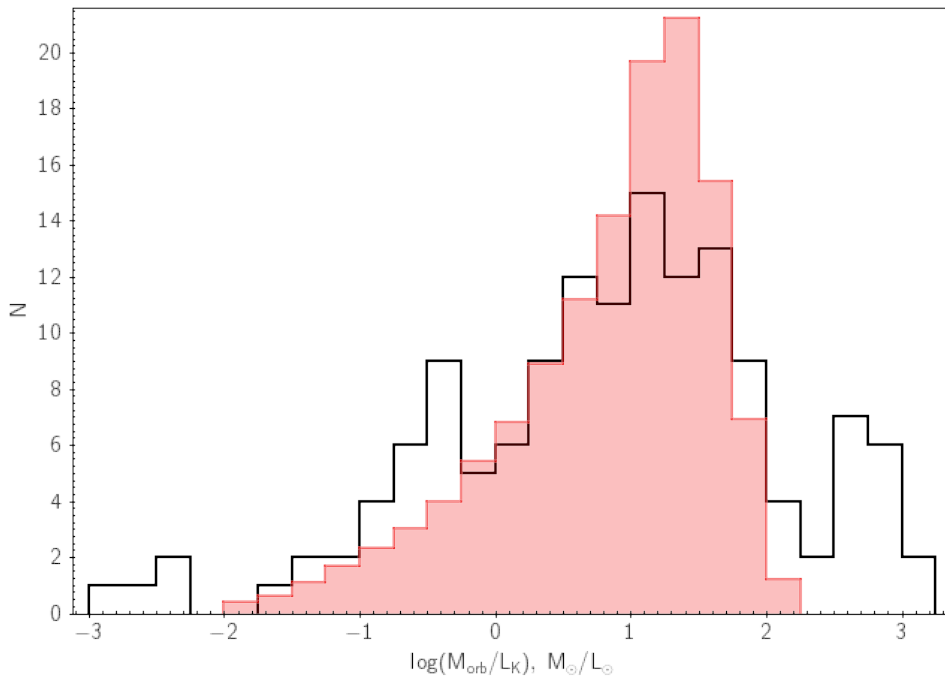


Рис. 6. Распределение KIG-галактик по оценкам отношения M_{orb}/L_K в логарифмической шкале (черная гистограмма). Красная гистограмма показывает ожидаемое распределение значений M_{orb}/L_K при фиксированном отношении $M_T/L_K = 25M_{\odot}/L_{\odot}$ и фиксированном эксцентриситете орбит спутников $e = 0.7$.

Как видно из рис. 1, в нашей выборке имеется 10 спутников, их светимость сравнима со светимостью самой KIG-галактики ($B_{\text{sat}} - B_{\text{KIG}} < 1^{\text{m}}0$). Типичное проекционное расстояние их составляет $R_p \simeq 240$ кпк. Исключение этих случаев незначительно меняет среднюю оценку $\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle$ с 20.9 ± 3.1 до 20.4 ± 3.0 в единицах массы и светимости Солнца.

Следует отметить, что на характер распределения галактик по параметру M_{orb}/L_K влияют некоторые другие факторы. Движения карликовых спутников в протяженных гало центральных массивных галактик отличаются от кеплеровских. В среднем, учет протяженности темных гало несколько увеличивает оценку $\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle$. С другой стороны, лучевые скорости галактик измеряются с заметной погрешностью. Так, для KIG-галактик и их спутников средняя квадратичная погрешность разности скоростей составляет $\sigma(\Delta V) = 26 \text{ км с}^{-1}$. Из-за квадратичной зависимости оценки M_{orb} от ΔV , это завышает среднее значение оценки массы примерно на 12%, а также влияет на форму хвоста распределения при $M_{\text{orb}}/L_K < 1$.

Оценка звездной массы KIG-галактик производилась нами по их светимости в K -полосе, пересчитанной из светимости в B -полосе с учетом морфологического типа по методу Jarrett et al. (2003). Рисунок 4 показывает, что в рассматриваемой выборке имеется 26 KIG-галактик, у которых K_t -величины из LEDA значительно слабее, чем использованные нами величины K_B , а именно $K_t - K_B > 1^{\text{m}}0$. Среди них выделяются 4 галактики: KIG 476, KIG 495, KIG 502 и KIG 949 с $K_t - K_B > 2^{\text{m}}0$. Анализ этих случаев показывает, что данные галактики обладают протяженной периферийной структурой низкой поверхностной яркости, которую не регистрирует 2MASS-обзор. Средняя разность B и K -величин для них из LEDA составляет $\langle b_t - k_t \rangle = 1^{\text{m}}58 \pm 0^{\text{m}}33$, что нетипично для спиральных галактик. Заметим, однако, что исключение 26 галактик с большим различием в оценках K -величин мало влияет на оценку $M_{\text{orb}} = 20.9 \pm 3.1$, понижая величину до значения $18.9 \pm 2.8 M_{\odot}/L_{\odot}$.

Как было отмечено многими авторами, отношение M_T/M^* или M_T/L_K у галактик с преобладающими балджами в среднем определено больше, чем у дискообразных галактик. Согласно данным More et al. (2011), Karachentseva et al. (2011), Mandelbaum et al. (2016), это различие достигает фактора 2–4 в зависимости от способа, которым оценивается величина M_T/M^* . Мы дополнили нашу выборку из 124 спутников вокруг спиральных KIG-галактик с оценками $M_{\text{orb}}/L_K < 250 M_{\odot}/L_{\odot}$ еще 26 спутниками вокруг E и S0 KIG-галактик

Таблица 2. Среднее отношение орбитальной массы к K -светимости для изолированных галактик разных типов

Type	$T < 0$	0–2	3, 4	5–8	All
N(sat)	31	42	38	39	150
$\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle$	59.8	21.3	16.3	24.9	28.9
	± 22.9	± 6.1	± 3.6	± 5.4	± 5.1

из Karachentseva et al. (2021). При этом мы учли поправку $\langle K_B - K_t \rangle = 0^{\text{m}}15$ для перехода в принятую нами систему K_B -величин. KIG-галактики были объединены в четыре подгруппы по их морфологическому типу: E, S0 ($T < 0$), S0a, Sa, Sab ($T = 0-2$), Sb, Sbc ($T = 3, 4$) и Sc–Sm ($T = 5-8$). Число спутников в каждой подгруппе, средние значения M_{orb}/L_K и ошибки среднего представлены в таблице 2. Как видно на рис. 7, воспроизводящего данные этой таблицы, спиральные галактики разных типов имеют сходные значения отношения массы гало к звездной массе в пределах статистической погрешности. Однако, для E и S0-галактик среднее отношение $\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle = 59.8 \pm 22.9 M_{\odot}/L_{\odot}$ оказывается примерно в 2 раза выше, чем у спиральных.

Аналогичный результат был отмечен нами для изолированных галактик каталога 2MIG (Karachentseva et al. 2010), составленного с использованием 2MASS-обзора (Skrutskie et al. 2006). Основываясь на данных о лучевых скоростях и проекционных расстояниях 154 мелких спутников вокруг спиральных 2MIG-галактик, Karachentseva et al. (2011) получили медианное отношение $M_{\text{orb}}/L_K = 17 M_{\odot}/L_{\odot}$, тогда как по движениям 60 спутников вокруг E и S0 галактик медианное отношение оказалось равным $63 M_{\odot}/L_{\odot}$.

5. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Исходная морфологическая классификация в Каталоге изолированных галактик (Karachentseva 1973) осуществлялась по репродукциям фотографического Паломарского обзора неба POSS-I. Мы пересмотрели старую классификацию, основываясь на современных цифровых многоцветных обзорах неба PanSTARRS-I (Chambers et al. 2016) и SDSS (Ahn et al. 2014) с привлечением также данных в ультрафиолетовых и инфракрасных диапазонах. В результате среди 1050 KIG-галактик число объектов ранних типов (E и S0) сократилось со 165 до 91 (Karachentseva et al. 2021). При этом обновленная классификация 959 спиральных KIG-

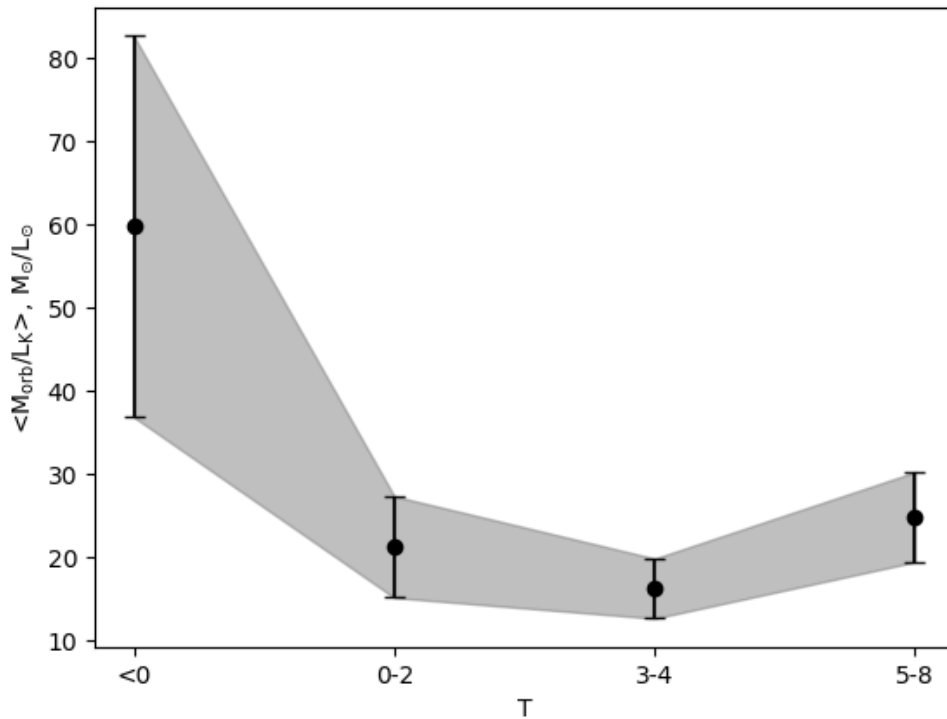


Рис. 7. Зависимость отношения M_{orb}/L_K от морфологического типа изолированной галактики. KIG-галактики были объединены в четыре подгруппы по их морфологическому типу: E, S0 ($T < 0$); S0a, Sa, Sab ($T = 0, 1, 2$); Sb, Sbc ($T = 3, 4$) и Sc–Sm ($T = 5, 6, 7, 8$). Галактики ранних типов характеризуются темным гало, которое примерно в 2–3 раза массивнее, чем гало у галактик поздних типов той же звездной массы.

галактик, обсуждаемая здесь, перевела в категорию E и S0 всего 5 галактик.

В результате предпринятого нами поиска спутников с измеренными лучевыми скоростями был обнаружен 31 спутник вокруг 23 KIG-галактик ранних типов и 136 спутников вокруг 106 KIG-галактик поздних типов в пределах проекционного расстояния 330 кпк, которое приблизительно соответствует вириальному радиусу типичной KIG-галактики. Ограничение на разность лучевых скоростей «KIG–спутник» составляло 500 км с^{-1} . Таким образом, около 76% изолированных ETG-галактик оказались без видимых спутников, а среди LTG-галактик эта величина составила 89%. Это свидетельствует о хорошей эффективности критерия изолированности, использованного в KIG-каталоге. Обнаруженные спутники KIG-галактик ранних типов оказались в среднем слабее «хозяйской» галактики на $\Delta B = 2^m 53 \pm 0^m 15$, а для спутников спиральных KIG-галактик средняя разность видимых величин составила $\Delta B = 2^m 94 \pm 0^m 15$. Наличие таких слабых спутников практически не нарушает условие изолированности, принятое в каталоге KIG.

Рассматривая эти мелкие спутники как пробные частицы, движущиеся вокруг KIG-галактик по кеплеровским орбитам с эксцентриситетом $e \simeq 0.7$, мы оценили полные массы KIG-галактик. Для изолированных галактик всех морфологических типов мы получили среднее отношение $\langle M_{orb}/L_K \rangle = (28.9 \pm 5.1) M_{\odot}/L_{\odot}$, что совпадает со средним отношением $(31 \pm 6) M_{\odot}/L_{\odot}$ для 25 ярких галактик Местного объема, аналогичных Млечному Пути и M 31 (Karachentsev and Kudrya 2014). При этом отношение $\langle M_{orb}/L_K \rangle$ у E и S0 KIG-галактик оказывается примерно в два раза выше, $(59.8 \pm 22.9) M_{\odot}/L_{\odot}$, чем у спиральных галактик той же звездной массы, $(20.9 \pm 3.1) M_{\odot}/L_{\odot}$, что также согласуется с данными для массивных галактик Местного объема. Систематическая разница в отношении звездной массы к массе гало у галактик ранних и поздних типов очевидно указывает на значительное различие в характере динамической эволюции дискообразных и балджеобразных галактик.

Как следует из данных рис. 6, наблюдаемое распределение KIG-галактик по величине M_{orb}/L_K имеет некоторый избыток над ожидаемым рас-

пределением вблизи $M_{\text{orb}}/L_K \simeq 0.5M_{\odot}/L_{\odot}$. Это может указывать на наличие немногочисленной подсистемы спиральных галактик (примерно 10%), у которых отсутствуют массивные темные гало. Анализируя кинематику спутников вокруг 25 близких спиральных галактик со светимостью типа светимости Млечного Пути, Karachentsev and Kashibadze (2021) отметили наличие среди них 5 галактик со средним отношением $\langle M_{\text{orb}}/L_K \rangle = (5.8 \pm 1.1)M_{\odot}/L_{\odot}$. У всех этих галактик (NGC 253, NGC 2683, NGC 2903, NGC 3521 и NGC 5055) наблюдаются убывающие кривые вращения на периферии, что также указывает на малую массу их гало. Существование спиральных галактик без темных гало может оказаться серьезным вызовом для стандартной космологической модели.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят анонимного рецензента за полезные советы. В работе были использованы обзоры неба PanSTARRS-I, SDSS, 2MASS, а также базы данных HyperLEDA <http://leda.univ-lyon1.fr> и NED <http://ned.ipac.caltech.edu>.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа частично поддержана грантом РФФ 19-02-00145.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. P. Ahn, R. Alexandroff, C. Allende Prieto, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **211** (2), 17 (2014).
2. N. A. Bahcall, *Proceedings of the National Academy of Science* **112** (40), 12243 (2015).
3. C. Barber, E. Starkenburg, J. F. Navarro, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **437** (1), 959 (2014).
4. E. F. Bell, D. H. McIntosh, N. Katz, and M. D. Weinberg, *Astrophys. J. Suppl.* **149** (2), 289 (2003).
5. S. G. Carlsten, J. P. Greco, R. L. Beaton, and J. E. Greene, *Astrophys. J.* **891** (2), 144 (2020).
6. K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe, et al., [arXiv:1612.05560](https://arxiv.org/abs/1612.05560) (2016).
7. J. Einasto, A. Kaasik, E. Saar, and A. D. Chernin, *Nature* **250** (5464), 309 (1974).
8. C. S. Frenk and S. D. M. White, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **193**, 295 (1980).
9. M. Fukugita and P. J. E. Peebles, *Astrophys. J.* **616** (2), 643 (2004).
10. T. H. Jarrett, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **112** (774), 1008 (2000).
11. T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri, et al., *Astron. J.* **125** (2), 525 (2003).
12. I. D. Karachentsev, *Двойные галактики* (Наука, Москва, 1987).
13. I. D. Karachentsev and O. G. Kashibadze, [arXiv:2109.00336](https://arxiv.org/abs/2109.00336) (2021).
14. I. D. Karachentsev and Y. N. Kudrya, *Astron. J.* **148** (3), 50 (2014).
15. V. E. Karachentseva, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii* **8**, 3 (1973).
16. V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev, and O. V. Melnyk, *Astrophysical Bulletin* **66** (4), 389 (2011).
17. V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev, and O. V. Melnyk, *Astrophysical Bulletin* **76** (2), 132 (2021).
18. V. E. Karachentseva, S. N. Mitronova, O. V. Melnyk, and I. D. Karachentsev, *Astrophysical Bulletin* **65** (1), 1 (2010).
19. A. Lapi, P. Salucci, and L. Danese, *Astrophys. J.* **859** (1), 2 (2018).
20. F. Lelli, S. S. McGaugh, and J. M. Schombert, *Astron. J.* **152** (6), 157 (2016).
21. D. Lynden-Bell, R. D. Cannon, and P. J. Godwin, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **204**, 87P (1983).
22. D. Lynden-Bell and C. S. Frenk, *The Observatory* **101**, 200 (1981).
23. D. Makarov, P. Prugniel, N. Terekhova, et al., *Astron. and Astrophys.* **570**, A13 (2014).
24. R. Mandelbaum, W. Wang, Y. Zu, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **457** (3), 3200 (2016).
25. A. Marasco, G. Cresci, L. Posti, et al., [arXiv:2105.10508](https://arxiv.org/abs/2105.10508) (2021).
26. O. V. Melnyk, V. E. Karachentseva, and I. D. Karachentsev, *Astrophysical Bulletin* **72** (1), 1 (2017).
27. O. V. Melnyk, V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev, et al., *Astrophysics* **52** (2), 184 (2009).
28. S. More, F. C. van den Bosch, M. Cacciato, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **410** (1), 210 (2011).
29. L. Posti and S. M. Fall, *Astron. and Astrophys.* **649**, A119 (2021).
30. V. C. Rubin, *Highlights of Astronomy* **7**, 27 (1986).
31. V. C. Rubin, J. Ford, W. K., and N. Thonnard, *Astrophys. J.* **225**, L107 (1978).
32. V. C. Rubin, J. Ford, W. K., and N. Thonnard, *Astrophys. J.* **238**, 471 (1980).
33. J. Schombert, [arXiv:2106.10327](https://arxiv.org/abs/2106.10327) (2021).
34. G. Seo, J. Sohn, and M. G. Lee, *Astrophys. J.* **903** (2), 130 (2020).
35. M. F. Skrutskie, R. M. Cutri, R. Stiening, et al., *Astron. J.* **131** (2), 1163 (2006).
36. A. Smercina, E. F. Bell, P. A. Price, et al., *Astrophys. J.* **863** (2), 152 (2018).
37. W. Wang, M. Takada, X. Li, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **500** (3), 3776 (2021).
38. R. H. Wechsler and J. L. Tinker, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **56**, 435 (2018).
39. S. D. M. White and C. S. Frenk, *Astrophys. J.* **379**, 52 (1991).

40. S. D. M. White and M. J. Rees, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **183**, 341 (1978).
 41. D. Zaritsky, R. Smith, C. Frenk, and S. D. M. White, *Astrophys. J.* **405**, 464 (1993).
 42. D. Zaritsky, R. Smith, C. Frenk, and S. D. M. White, *Astrophys. J.* **478** (1), 39 (1997).
 43. D. Zaritsky and S. D. M. White, *Astrophys. J.* **435**, 599 (1994).
 44. F. Zwicky, E. Herzog, P. Wild, et al., *Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies, Vol. I–VI* (Caltech, Pasadena, 1961–1968).

Masses of Isolated Spiral KIG Galaxies, Determined by the Motions of their Faint Companions

V. E. Karachentseva¹, I. D. Karachentsev², and O. V. Melnyk¹

¹Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 03143 Ukraine

²Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhiz, 369167 Russia

We have updated the classification of late-type galaxies presented in the Catalog of Isolated Galaxies (KIG) using the advanced digital sky surveys. Our search for companions around 959 KIG galaxies revealed 141 neighbors associated with 111 KIG galaxies within the mutual projection separation of less than 330 kpc and the radial velocity difference not exceeding 500 km s^{-1} . Typical luminosity of the companions turned out to be weaker than the luminosity of the main galaxies by more than an order of magnitude. Considering these small companions as test particles that move around the KIG galaxies along the Keplerian orbits with eccentricity of $e \simeq 0.7$, we estimated the total (orbital) masses of spiral KIG galaxies. Their average orbital mass-to-*K*-band luminosity ratio, $(20.9 \pm 3.1)M_{\odot}/L_{\odot}$, is in a good agreement with the corresponding value for the nearby Milky Way, M 31 and M 81-type massive spirals. Isolated disk-shaped galaxies have an on the average 2-3 times smaller total-mass-to-stellar-mass ratio than those of isolated bulge-shaped galaxies.

Keywords: *galaxies: isolated—galaxies: late types—galaxies: orbital masses*

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Свойства галактик LTG KIG и их спутников

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
KIG 16	0	15.55	11.68	11.23	5634	2		34.49				
SDSS J002220.83+010734.7	9	19.72			5345	1	-289		249	10.616	13.390	2.774
PGC 1181260	10	18.18	15.58		5666	6	32		286	10.616	11.540	0.924
KIG 19	0	15.31	11.30	10.90	5601	15		34.49				
WISEA J002417.59+141619.6	-2	16.67	12.68		5713	52	112		45	10.748	11.823	1.075
WISEA J002425.18+141621.1	0	18.08			5596	45	-5		61	10.748	9.255	-1.493
SDSS J002431.06+141538.1	7	17.8			5611	6	10		82	10.748	9.987	-0.761
2MASX J00234382+1418246	5	16.06	13.70		5586	6	-15		187	10.748	10.699	-0.049
SDSS J002443.46+140419.4	10	17.99			5531	9	-70		250	10.748	12.158	1.410
AGC 748790	10	19.5			5607	4	6		304	10.748	10.114	-0.634
WISEA J002500.25+140407.0	9	17.73			5493	2	-108		309	10.748	12.628	1.880
KIG 32	2	14.28	11.47	9.96	5526	2		34.46				
AGC 102267	8	18.30	13.82		5434	4	-92		206	11.112	12.314	1.202
KIG 34	8	15.68	13.28	12.14	5188	3		34.32				
AGC 101825	10	19.2			5322	3	134		269	10.184	12.756	2.872
KIG 56	3	14.06	10.43	9.77	5272	1		34.33				
WISEA J013508.78+004303.7	9	17.85	15.04		5332	2	60		264	11.136	12.049	0.913
KIG 60	4	15.41	12.06	11.18	5256	3		34.33				
PGC 1147952	7	18.00	13.80		5256	3	3		325	10.572	9.531	-1.041
KIG 72	3	14.43	10.32	9.95	5284	8		34.35				
IC 1749	9	14.69	11.07		5200	8	-84		293	11.072	12.387	1.315

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
KIG 74	4	14.94	11.91	11.01	10400	7		35.88				
IC 1752	3	16.29	12.44		10744	3	344		67	11.260	12.971	1.711
KIG 81	1	13.91	10.03	8.96	3634	41		33.51				
WISEA J020001.90+123218.2	8	18.30			3654	2	20		98	11.132	10.663	-0.469
KIG 86	3	13.88	10.14	9.6	5466	3		34.44				
AGC 122960	9	16.56			4982	4	-484		270	11.248	13.873	2.625
KIG 96	5	11.62	8.61	7.78	1663	2		31.05				
AGC 121171	9	16.38	13.70		1703	3	40		92	10.620	11.240	0.620
KKH 10	10	16.5			1661	2	-2		243	10.620	9.041	-1.579
KIG 120	2	14.63	10.00	10.02	6836	5		34.95				
AGC 122903	8	18.5			6847	4	11		260	11.284	10.568	-0.716
KIG 150	5	15.50	12.71	11.73	9174	5		35.61				
PGC 146300	5	16.28	12.67		8834	39	-340		191	10.864	13.416	2.552
KIG 159	5	15.45	9.63	9.89	4310	8		34.20				
MCG +13-5-3	-2	16.30	11.64		4470	25	160		226	11.036	12.834	1.798
KIG 181	5	14.04	10.94	10.23	4263	4		33.99				
VV 640	9	15.59			4348	60	85		318	10.816	12.433	1.617
KIG 198	5	15.64	11.35	11.39	9681	9		35.77				
KUG 0734+464	9	17.32	14.18		9601	2	-80		253	11.064	12.281	1.217
KIG 199	5	14.86	11.30	10.46	3896	2		33.80				
WISEA J073913.79+374037.9	8	18.20			3567	1	-329		127	10.648	13.210	2.562

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
WISEA J073951.88+374915.6	7	18.2			3570	2	-326		304	10.648	13.581	2.933
KIG 211	3	15.61	10.87	10.8	8345	3		35.44				
WISEA J075330.46+323046.3	5	18.46			8380	4	35		117	11.168	11.228	0.06
WISEA J075312.13+323647.1	7	17.53			8150	2	-195		144	11.168	12.810	1.642
KIG 213	0	14.80	10.62	10.45	5952	3		34.72				
WISEA J075528.53+392512.7	9	17.18	14.17		5951	2	-1		310	11.020	8.556	-2.464
KIG 232	5	13.06	9.61	9.33	5215	2		34.44				
SDSS J081025.18+340015.5	9	16.71			5184	2	-37		77	11.356	11.093	-0.263
SDSS J081021.15+340158.7	8	18.05			5321	2	106		103	11.356	12.134	0.778
KIG 237	5	15.23	9.72	10.22	5525	3		34.55				
WISEA J081507.61+523439.8	-5	18.16			5620	12	95		260	11.044	12.442	1.398
PGC 2425695	-2	17.30			5554	12	29		296	11.044	11.468	0.424
CGCG 263-017	3	15.19	10.81		5564	3	39		296	11.044	11.725	0.681
KIG 250	8	13.63	11.38	10.29	2157	5		31.27				
MCG +08-16-005	9	16.08	13.21		2181	1	24		129	9.704	10.944	1.240
KIG 252	5	15.50	12.64	11.31	9369	7		35.70				
WISEA J082622.45+112203.6	7	18.2			9421	9	52		318	11.068	12.004	0.936
KIG 270	2	15.40	11.98	10.53	8849	15		35.58				
WISEA J083821.75+124354.1	9	18.34			8920	2	71		276	11.332	12.215	0.883
WISEA J083825.49+124429.7	-5	16.65	12.57		8872	4	23		301	11.332	11.274	-0.058
KIG 274	1	15.78	11.54	11.48	7462	7		35.22				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
WISEA J084017.68+231058.0	7	18.29			7468	2	4		204	10.808	9.580	-1.228
KIG 278	3	14.45	11.12	9.95	7661	6		35.28				
SDSS J084131.79+325932.0	9	17.89			7672	4	11		275	11.444	10.591	-0.853
KIG 293	7	14.98		10.58	1719	13		32.16				
PGC 1746243	9	17.46			1809	0	90		274	9.944	12.418	2.474
KIG 296	4	14.60	10.80	9.86	4244	3		34.01				
PGC 1917858	0	15.20	11.27		4149	2	-95		224	10.972	12.377	1.405
KIG 319	3	14.16	9.95	9.39	4802	4		34.34				
WISEA J091529.31+114625.3	9	17.42			4945	15	143		155	11.292	12.573	1.281
WISEA J091508.03+114550.9	1	17.06			4771	3	-31		161	11.292	11.262	-0.03
KIG 323	6	15.15	11.40	10.45	7910	4		35.35				
SDSS J092049.21+241619.0	9	18.48			7892	2	-18		149	11.272	10.756	-0.516
KIG 338	0	14.53	10.43	10.24	3294	3		33.49				
AGC 193045	9	16.97			3328	2	34		252	10.612	11.536	0.924
KIG 339	3	14.52	10.85	10.47	7610	2		35.26				
WISEA J092948.09+554642.4	8	18.20			7778	2	168		169	11.228	12.750	1.522
KIG 348	4	16.18	13.48	11.84	11016	2		36.07				
WISEA J093317.15+053546.6	9	17.99			10953	1	-63		107	11.004	11.700	0.696
KIG 355	7	14.43	10.95	10.81	4337	2		34.07				
WISEA J093617.01+373751.3	9	17.83			4401	1	64		150	10.616	11.860	1.244
KIG 358	-2	13.30	9.47	9.04	3658	44		33.71				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
AGC 193900	7	18.5			3675	4	17		185	11.180	10.799	-0.381
KIG 362	3	15.46	11.52	10.82	9489	7		35.73				
WISEA J094259.81+630630.5	9	17.47			9468	2	-21		203	11.276	11.025	-0.251
KIG 367	5	15.28	13.08	11.64	7700	2		35.29				
WISEA J094539.06+554811.5	-5	16.49	13.07		7691	4	-9		293	10.772	10.447	-0.325
KIG 385	3	13.38	10.48	8.85	3084	4		33.33				
SBS 0953+592	9	16.96			3083	1	-1		278	11.104	8.518	-2.586
KIG 393	9	14.75	11.31	10.59	3065	68		33.33				
CGCG 289-027	-2	15.14	11.63		2894	3	-171		239	10.408	12.916	2.508
KUG 0958+599	8	16.44	14.39		3416	1	351		288	10.408	13.622	3.214
KIG 400	3	13.53	9.23	8.7	5087	8		34.42				
KUG 1004+321B	0	17.16			5157	4	70		138	11.600	11.902	0.302
KUG 1004+321A	6	16.60			5248	1	161		165	11.600	12.703	1.103
KIG 401	4	14.80	11.32	10.55	6214	7		34.84				
SHOC 292	9	17.88			6144	2	-70		31	11.028	11.253	0.225
KIG 403	5	15.51	12.18	11.91	11628	5		36.19				
WISEA J101400.65+355847.3	10	17.77	14.01		11656	3	28		327	11.024	11.480	0.456
KIG 416	5	14.79	11.67	10.16	2171	7		32.94				
WISEA J102641.93+115350.9	9	17.67			2127	1	-44		189	10.424	11.635	1.211
RFGC 1787	7	17.07	14.20		2271	2	100		203	10.424	12.378	1.954
KIG 423	2	13.90	9.77	8.94	6160	3		34.78				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
WISEA J103139.99+245046.1	4	16.79	13.92		6133	3	-27		71	11.648	10.785	-0.863
WISEA J103147.15+245128.1	8	17.99			6266	8	106		105	11.648	12.143	0.495
KIG 444	6	13.09	10.23	9.81	4279	8		34.05				
WISEA J105049.21-020636.1	9	18.86			4255	64	-24		66	11.008	10.653	-0.355
WISEA J105115.32-021402.6	-5	18.98			4284	89	5		130	11.008	9.580	-1.428
WISEA J105025.50-021627.2	0	17.72			4288	50	9		218	11.008	10.318	-0.690
KIG 467	0	14.49	10.20	10.33	6363	4		34.90				
SDSS J110920.51+360537.5	9	18.36			6503	60	140		121	11.140	12.447	1.307
KIG 471	2	15.32	11.84	10.68	8850	64		35.60				
PGC 1098042	9	17.39	13.84		8849	64	-1		282	11.280	8.518	-2.762
KIG 474	6	15.40		11.82	5723	4		34.68				
SDSS J111624.10+110611.5	5	17.91			5819	8	96		130	10.456	12.149	1.693
KIG 476	6	15.28	13.33	10.93	3196	6		33.46				
2MASS J11204044+4301201	9	16.93			3022	4	-174		283	10.324	13.005	2.681
KIG 483	1	14.24	10.34	10.05	6457	7		34.94				
SDSS J113205.82+033344.3	9	18.40	15.66		6417	2	-40		218	11.268	11.614	0.346
KIG 488	3	15.82	10.90	11.09	12671	20		36.36				
WISEA J113633.11+732811.2	3	16.84	11.80		12595	116	-76		193	11.420	12.117	0.697
KIG 495	0	15.83	13.65	11.64	5365	2		34.54				
WISEA J114056.77+012739.5	9	19.31	18.69		5277	89	-88		55	10.472	11.701	1.229
KIG 497	3	15.17	11.95	11.03	7367	4		35.22				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
WISEA J114327.55+032738.1	9	17.28	14.41		7833	2	466		140	10.988	13.555	2.567
KIG 499	3	14.78	11.1	10.31	8374	11		35.49				
WISEA J114804.59+014918.6	9	18.78			8550	64	176		190	11.384	12.841	1.457
KIG 502	6	13.95	13.25	10.38	1529	3		32.90				
SDSS J114810.61-015920.8	8	17.08			1351	2	-178		86	10.320	12.508	2.188
KIG 508	5	14.42	11.70	10.56	5952	2		34.77				
PGC 1199172	7	18.88	15.96		6123	89	171		270	10.996	12.969	1.973
KIG 512	4	13.48	11.24	9.7	1715	3		32.25				
PGC 3291881	9	18.81	18.69		1628	89	-87		240	10.332	12.330	1.998
KIG 516	4	15.21	12.23	10.69	6362	4		34.91				
WISEA J115958.53+175344.1	8	17.66			6808	2	446		313	11.000	13.866	2.866
KIG 520	3	14.30	10.72	10.28	7991	2		35.37				
SDSS J121042.31+563228.1	8	18.25			8100	4	109		262	11.348	12.565	1.217
KIG 525	3	13.80	10.46	9.68	6932	2		35.08				
WISEA J122226.55+404541.7	8	19.84			6899	3	-33		305	11.472	11.593	0.058
KIG 528	5	13.44	9.62	9.33	4190	3		34.01				
SDSS J122429.57+483311.6	8	17.25			4069	8	-121		266	11.184	12.663	1.479
KIG 533	-5	16.02	11.96	11.82	21510	27		37.55				
WISEA J123143.94-010019.5	3	18.40	15.35		21363	7	-147		30	11.852	11.884	0.032
KIG 539	3	13.98	10.27	9.82	5456	3		34.55				
WISEA J123538.14+541350.1	-2	17.69			5485	14	29		75	11.204	10.869	-0.335

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
KIG 540	8	14.34	11.77	11.26	2429	2		32.91				
LCRS B123512.8-021530	9	17.35			2204	1	-225		194	9.972	13.064	3.092
WISEA J123905.75-020044.4	8	16.74	14.48		2459	1	30		253	9.972	11.430	1.458
KIG 554	3	15.37	11.56	11.22	12999	5		36.43				
SBS 1250+594	9	17.33			13311	2	312		133	11.396	13.184	1.788
KIG 565	2	15.80	11.94	11.40	12110	4		36.29				
PGC 3123173	9	18.15			12242	2	132		315	11.268	12.811	1.543
KIG 589	1	15.80	11.94	11.48	18151	3		37.17				
WISEA J133052.31+582119.3	-2	17.83	13.76		17885	3	-266		205	11.588	13.233	1.645
KIG 592	1	16.04	12.42	11.62	6579	5		34.98				
WISEA J133156.94+030703.7	7	17.96	15.51		6525	5	-54		229	10.656	11.896	1.240
KIG 604	1	12.17	8.38	7.66	1902	2		32.33				
WISEA J135747.42+470115.6	9	18.22			2203	1	301		188	11.180	13.303	2.123
KIG 605	1	12.82	9.25	8.45	2407	3		32.87				
SDSS J135709.93+291310.4	9	17.45			2278	1	-129		53	11.080	12.017	0.937
WISEA J135729.48+290332.7	7	19.3			2289	3	-118		115	11.080	12.276	1.196
KIG 606	3	15.20	12.24	10.75	14604	3		36.69				
WISEA J135942.79+010637.1	4	16.39	12.53		14484	1	-120		143	11.688	12.386	0.698
KIG 609	3	14.51	11.07	10.32	2002	2		32.51				
SDSS J140003.25+461712.5	10	17.63			2225	3	223		193	10.188	13.054	2.866
SBS 1400+461	9	15.28	12.41		2216	2	214		264	10.188	13.154	2.966

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
KIG 612	3	15.03	11.47	10.97	8272	4		35.46				
WISEA J140812.40+295050.3	6	18.09			8304	3	32		141	11.108	11.230	0.122
KIG 618	2	15.97	12.35	11.45	11487	33		36.17				
WISEA J141324.90+174658.9	2	17.75			11408	2	-79		88	11.200	11.812	0.612
KIG 625	4	14.60	10.59	9.57	4674	2		34.24				
CGCG 133-37	5	15.89	13.43		4589	2	-85		200	11.180	12.230	1.050
KIG 626	5	12.77	9.95	9.03	1576	6		32.25				
LEDA 1150546	10	18.62	17.08		1534	8	-42		247	10.600	11.711	1.111
KIG 630	3	14.14	10.59	9.83	4001	2		33.91				
SDSS J142514.73+482727.4	7	17.62			4114	2	113		201	10.944	12.480	1.536
KIG 634	5	12.02	8.29	8.2	2063	2		32.24				
PGC 2573480	8	16.49			2006	2	-57		56	10.928	11.330	0.402
KIG 637	0	12.59	8.98	8.44	2267	23		32.50				
PGC 2472512	-5	17.37			2189	10	-78		38	10.936	11.436	0.500
KIG 638	5	12.48	8.98	8.1	1707	6		31.58				
SDSS J143549.94+023618.4	7	16.80			1509	6	-198		290	10.704	13.127	2.423
WISEA J143939.33+023454.5	8	17.22			1600	5	-107		296	10.704	12.602	1.898
KIG 642	7	14.45	12.39	10.8	1582	3		32.85				
PGC 2043836	9	16.25			1582	2	0		67	10.132	7.845	-2.287
AGC 245249	10	17.3			1585	5	3		272	10.132	9.462	-0.670
KIG 644	-2	15.21	10.94	10.55	8212	4		35.43				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
2MASX J14440953+4327554	-2	16.54	13.08		8232	5	20		255	11.264	11.079	-0.185
KIG 653	1	13.71	9.55	8.94	4990	6		34.68				
SDSS J145055.4+403125.8	-5	18.33			4911	2	-79		205	11.608	12.179	0.571
KIG 694	1	15.36	11.07	10.5	10606	2		35.99				
PGC 1212133	3	17.63	14.05		10628	4	22		179	11.508	11.009	-0.499
KIG 696	1	15.91	11.70	10.83	10039	4		35.86				
WISEA J154223.60-011629.6	-5	16.50	12.16		9782	3	-257		154	11.324	13.079	1.755
WISEA J154234.30-011934.1	5	18.25			9728	9	-311		326	11.324	13.570	2.246
KIG 712	4	12.87	9.52	8.94	1925	1		32.38				
WISEA J155445.06+143503.1	8	18.30			2045	5	120		72	10.688	12.086	1.398
KIG 721	1	15.26	11.97	11.02	11513	11		36.16				
WISEA J160809.71+391430.0	10	18.84			11844	8	331		239	11.368	13.490	2.122
WISEA J160810.96+390811.6	3	17.53	14.04		11464	3	-49		267	11.368	11.878	0.510
WISEA J160755.71+390548.0	0	18.18	13.92		11590	7	-77		287	11.368	12.301	0.933
KIG 738	1	15.88	11.97	11.49	10024	4		35.85				
AGC 268204	3	16.99			10017	4	-7		259	11.056	10.176	-0.880
KIG 739	4	15.81	12.43	11.41	8719	16		35.55				
LEDA 1495610	9	16.89	13.89		8803	3	84		267	10.968	12.346	1.378
KIG 769	1	13.41	10.03	9.1	4414	2		34.09				
WISEA J164340.85+223239.7	9	18.27			4395	1	-19		308	11.308	11.117	-0.191
KIG 782	-2	15.53	10.60	10.38	7430	21		35.19				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
PGC 1108385	0	16.42	11.50		7637	38	207		214	11.236	12.718	1.482
KIG 791	3	14.73	10.40	9.9	2683	13		33.05				
KKR 33	8	16.70			2702	4	19		327	10.572	11.143	0.571
KIG 807	4	15.53	11.65	11.47	8428	4		35.47				
PGC 3138681	8	18.07			8408	2	-20		324	10.912	11.185	0.273
KIG 813	5	12.38	9.48	8.75	1570	3		31.86				
IC 4660	3	14.23	11.35		1492	2	-78		208	10.556	12.173	1.617
KIG 853	8	15.64		12.32	2592	5		32.91				
18 ^h 28 ^m 40 ^s + 32°02'50''	10	18.0			2581	30	-11		159	9.548	10.356	0.808
KIG 882	4	15.62	11.38	10.70	6553	13		34.87				
PGC 1104611	9	17.0	11.28		6486	19	-67		120	10.980	11.803	0.823
KIG 884	4	15.67	11.23	10.42	8246	9		35.38				
PGC 1172011	9	17.35			8188	3	-58		228	11.296	11.957	0.661
KIG 891	5	15.40	11.73	11.26	9308	45		35.61				
PGC 1146821	7	17.40			9298	3	-10		221	11.052	10.415	-0.637
KIG 892	4	14.74	10.69	10.53	9276	3		35.63				
SDSS J205201.30+000535.8	9	19.62			9258	2	-18		199	11.312	10.881	-0.431
KIG 938	8	15.56		12.23	1967	2		32.12				
AGC 310467	9	17.80			1983	3	16		79	9.268	10.376	1.108
PGC 1440937	0	17.26			1953	3	-4		216	9.268	9.613	0.345
KIG 949	7	14.60	13.08	10.69	1940	1		31.78				

Таблица 1. (Продолжение)

Имя галактики	T	b_t mag	K_t mag	K_B mag	V_{LG} km s ⁻¹	$\pm V_{LG}$ km s ⁻¹	δV_{LG} km s ⁻¹	modbest mag	R_p kpc	$\log(L_K)$ L_\odot	$\log(M_{orb})$ M_\odot	$\log M_{orb} - \log L_K$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
AGC 748687	10	18.7			1908	3	-32		289	9.748	11.543	1.795
KIG 952	-2	15.76	10.89	11.45	7845	11		35.25				
SDSS J221018.28+163642.6	0	17.46	13.05		7862	2	17		260	10.832	10.949	0.117
KIG 962	4	15.54	11.81	10.76	7192	4		35.07				
AGC 321476	9	18.0			7363	4	171		167	11.036	12.760	1.724
KIG 964	2	15.66	11.51	11.29	7065	23		35.02				
AGC 321503	9	18.2			7152	4	87		238	10.804	12.326	1.522
KIG 990	9	15.76		12.3	3656	2		33.54				
AGC 748719	8	18.8			3566	4	-90		313	9.808	12.476	2.668
KIG 993	4	15.28	12.01	10.43	12926	9		36.37				
WISEA J225247.29+244439.7	-2	18.16	13.52		13000	4	74		149	11.688	11.984	0.296
KIG 1001	1	13.76	9.63	9.34	3277	4		33.27				
WISEA J225650.76-005032.8	7	18.34			3348	7	71		179	10.884	12.025	1.141
KIG 1005	5	15.22	12.46	10.72	5129	2		34.28				
MRK1129	9	17.23	13.60		5016	9	-113		133	10.736	12.301	1.565
KIG 1006	5	14.45	10.63	10.63	5753	16		34.57				
AGC 335574	10	19.5			5639	6	-114		223	10.888	12.534	1.646
KIG 1019	4	13.41	9.70	9.16	3746	2		33.59				
AGC 333285	8	18.8			3691	4	-55		245	11.084	11.942	0.858
KIG 1044	2	14.27	10.49	9.89	7123	5		35.03				
AGC 333638	9	20			7183	4	60		306	11.368	12.114	0.746