

## ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ В ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИКАХ

Применяется статистический критерий для определения физических, вероятно физических, вероятно оптических, оптических пар каталога двойных галактик и обсуждается вопрос о наличии темной материи в двойных галактиках.

**Введение.** Прошло 10 лет с момента обнаружения ускоренного расширения наблюдаемой части Вселенной и открытия космического вакуума, который способен создать анти-гравитацию и в котором происходят разного рода взаимодействия микромира. Если в микромире присутствие вакуума не всегда доступно для наблюдения, то в наблюдаемой Вселенной он становится доминирующей силой, а Вселенная выступает как большая лаборатория для наблюдения. Поэтому, когда речь идет о вакууме, чаще всего говорят о космическом вакууме [1]. В космологии обычно предполагается, что носителями темного вещества служат неизвестные пока стабильные элементарные частицы довольно большой массы, приблизительно в тысячу раз превышающей массу протона. В отличие от протонов и нейтронов, эти частицы не чувствуют «сильных» ядерных сил, но участвуют, как и электроны, в электростатическом взаимодействии [2].

При изучении двойных галактик особый интерес вызывает задача определения массы галактик, так как сильное разногласие между многими исследователями возникает именно в этом

вопросе. В работе [3] представлен каталог из 509 пар галактик самого близкого, так называемого Местного объема (МО) радиусом 10 Мпк, которые были выбраны из 10 403 галактик по критерию выделения кратных систем. Большинство из них являются карликовыми системами с измеренными лучевыми скоростями. Как отмечает И. Д. Каракенцев, количество темной материи на единицу светимости галактик возрастает от мелких групп к богатым скоплениям. Около половины галактик входит в группы типа нашей Местной группы, около четверти располагаются в рассеянных группах (облаках) и всего 5–10% находятся в общем поле.

С другой стороны, наличие в МО групп, состоящих исключительно из карликовых галактик было отмечено Талли и др. [4]. Средняя разность лучевых скоростей у компонентов этих пар всего 25 км/с, а медиана на проекции взаимного расстояния равна 30 кпк (среднее 42 кпк). Взаимное расстояния и разности лучевых скоростей компонентов пар в каталоге ограничены сверху. Данная выборка исключает существования широких двойных галактик, как Галактика-Андромеда

(М31). Для близких двойных галактик присутствие темной материи может быть незамеченным.

Видимо, для изучения наличия темной материи в системах двойных галактик нужно делать обзор намного большего объема, чем МО. Поэтому для изучения мы рассматривали каталог двойных галактик И.Д.Караченцева [5], который охватывает объем радиусом от 3 до 250 Мпк, что почти на порядок превышает объем диаметром 82 Мпк, рассматриваемый Талли [6, 7].

**1. Статистика каталога по критериям изолированности.** Анализ результатов применения статистического критерия [8] к каталогу двойных галактик И.Д.Караченцева [5] показал, что чем сильнее критерий отбора двойных ( $\eta = 10$ ,  $\xi = 1/4$ ), тем меньше взаимное расстояние компонентов пары: для физических и вероятно физических пар при  $\eta = 10$  оно не превышает 50 кпк и 60 кпк для  $\eta = 5$ ; максимум распределения соответствует 10–20 кпк. Если критерий слабый ( $\eta = 5$ ,  $\xi = 1/2$ ), то среднее расстояние между компонентами медленно меняется до 80 кпк; максимум распределения соответствует 20–30 кпк.

Для значений параметра  $\xi$  разность лучевых скоростей компонентов физических пар также ограничена; при  $\xi = 1/4$  она не превышает 300 км/с, а при  $\xi = 5$ –400 км/с. Максимум распределения соответствует 100 км/с.

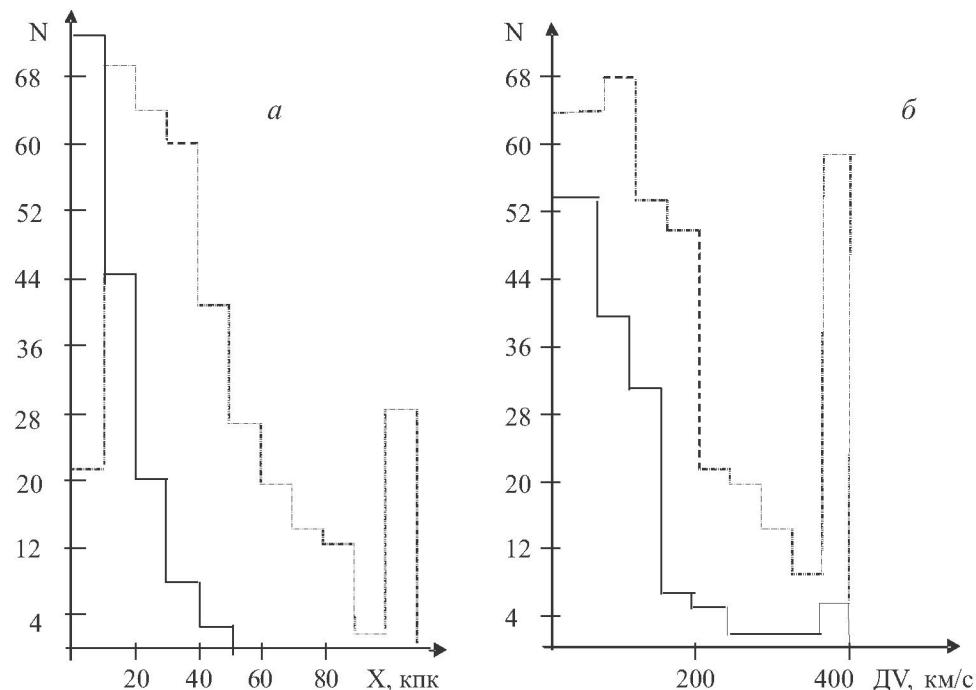


Рис. 1. Распределение физических и вероятно физических пар по взаимному расстоянию (а) и по разности лучевых скоростей (б): физические пары – сплошная линия, вероятно физические пары – пунктирная линия

Гистограммы распределения взаимного расстояния  $X_{12}$  и разности лучевых скоростей  $\Delta V = (V_2 - V_1)$  физических и вероятно физических пар каталога двойных галактик И. Д. Караченцева показаны на рис. 1.

Статистический критерий резко ограничивает взаимное расстояние и разность лучевых скоростей компонентов пар: взаимное расстояние для физических пар каталога фактически не превышает 40 кпк, а для вероятно физических – 90 кпк; пики распределения – от 0 до 10 кпк для физических пар и от 10 до 20 кпк для вероятно физических пар (рис. 1, а). Эти результаты хорошо согласуются с данными численного моделирования, проведенного в работе [5], в которых для физических пар взаимное расстояние не должно превышать 40–45 кпк.

Фактически разность лучевых скоростей компонентов пары не должна превышать 200 км/с для физических пар и 400 км/с для вероятно физических пар. Пик распределения для физических пар соответствует интервалу скоростей от 0 до 50 км/с, а для вероятно физических – от 50 до 100 км/с (рис. 1, б). Однако, несмотря на жесткие ограничения по отношению к взаимному расстоянию и разности скоростей, их значения для вероятно физических пар могут достигнуть, соответственно, до  $\approx 250$  кпк и  $\approx 1100$  км/с.

Таблица 1. Средние значения взаимного расстояния, скорости и массы

Название пар	$X_{12}$ , кпк	$\Delta V$ , км/с	$M/M_C$
Физические	15,6	130	$1,6 \cdot 10^{11}$
Вероятно физические	43,8	332	$3,4 \cdot 10^{12}$
Вероятно оптические	87,2	1251	$4,5 \cdot 10^{13}$
Оптические	123,2	4334	$5,7 \cdot 10^{14}$

В табл. 1 приведены средние значения взаимных расстояний, разности лучевых (радиальных) скоростей и масс физических и вероятно физических пар каталога [5]. Если средняя масса физически связанной двойной галактики примерно равна звездной (видимой) массе нашей

Галактики, то среднее значение массы для вероятно физических пар более чем в 20 раз превышает звездную массу Галактики. Как нам известно, наша Галактика относится к крупным галактикам.

Тогда можно предположить, что, вероятно, имеются более массивные системы динамики связанных двойных галактик, масса которых может превысить на порядок звездную массу Местной группы.

**2. Изучение оптических пар галактик.** Из всех 585 двойных галактик 39 пар оказались оптическими, 34 – вероятно оптическими (табл. 2).

Таблица 2. Распределение оптических и вероятно оптических пар

Разности лучевых скоростей, км/с	Менее 200	200-400	400-600	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	Более 1600
Кол-во вероятно оптических пар	14	6	3	1	0	0	1	0	9
Количество оптических пар	4	2	0	1	1	2	1	0	28

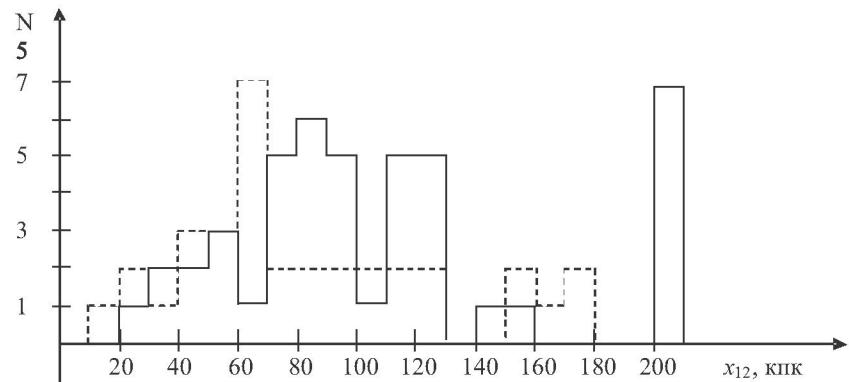
Относительные скорости 28 оптических и 9 вероятно оптических пар превышают 1600 км/с. Это означает, что, видимо, относительные скорости играют решающую роль при определении физической связанности систем. Средние значения разности лучевых скоростей вероятно оптических и оптических пар каталога составляют, соответственно, 1250 и 4330 км/с. Очевидно, что относительная скорость всегда превышает разность лучевых скоростей компонентов пары.

На рис. 2 показано распределение оптических и вероятно оптических пар по взаимному расстоянию компонентов пары. Взаимное расстояние

компонентов пары определяется из предположения, что центр масс двойной галактики находится на одинаковом расстоянии от обеих галактик. Поэтому расстояние двойной галактики от наблюдателя определяется по среднему значению лучевых скоростей компонентов пары.

Взаимное расстояние компонентов у вероятно оптических пар не превышает 180 кпк. У оптических – имеются 6 двойных галактик, взаимное расстояние которых более 200 кпк. Среднее расстояние для вероятно оптических пар составляет 87 кпк, а для оптических – 123 кпк.

Суммарная орбитальная масса физически связанной двойной галактики, определенной по



**Рис. 2.** Распределение оптических (сплошная линия) и вероятно оптических (штриховая) пар по взаимному расстоянию компонентов

формуле, приведенной в [5]:

$$M = \frac{32}{3\pi} \cdot \gamma^{-1} \cdot X \cdot (V_1 - V_2)^2 \quad (1)$$

примерно равна звездной массе Местной группы ( $3,8 \cdot 10^{11} M_C$ ), где  $M_C$  – масса Солнца. Однако значение средней массы вероятно оптических пар более чем в 100 раз ( $4,5 \cdot 10^{13} M_C$ ), а оптических пар – более чем в 1000 раз ( $5,7 \cdot 10^{14} M_C$ ) превышает звездную массу Местной группы.

Если среди оптических пар можно найти физически связанную систему, то можно предположить, что, возможно, имеются более массивные системы динамически связанных двойных галактик, масса которых намного превышает видимую массу Местной группы. Динамику таких систем, вероятно, невозможно объяснить без привлечения значительных скрытых масс.

Результаты применения статистического критерия к каталогу двойных галактик И. Д. Карабченцева показали, что к оптическим парам можно отнести следующие пары: 12, 15, 20, 27, 30, 35, 45, 54, 57, 60, 77, 94, 114, 166, 189, 196, 238, 245, 247, 267, 357, 364, 417, 443, 448, 456, 462, 463, 464, 475, 478, 498, 500, 512, 522, 546, 556, 563, 569. Из них явные следы взаимодействия показали пары: 60, 364, 463, 569. К вероятно оптическим парам можно отнести: 2, 18, 48, 55, 111, 120, 162, 164, 174, 183, 184, 207, 213, 226, 229, 235, 270, 272, 286, 412, 421, 457, 489, 496, 497, 510, 513, 520, 529, 532, 550, 562, 597, 599. Явные следы взаимодействия показали следующие пары: 18, 164, 183, 272, 286, 599. Некоторые характеристики взаимодействующих пар приведены в табл. 3.

Разумеется, само по себе присутствие притягивающих сил, которые привели к искажению струк-

Таблица 3. Взаимодействующие оптические и вероятно оптические пары

№ п/п	№ пары	Типы галактик	Критерий отбора	Тип взаимодействия	$x_{1/12}$ , кпк	$V_{12}$ , км/с	$M/M_C$
1	18	E-E	(+ -)	Aam	25	355	$2,47 \cdot 10^{12}$
2	60	Sc-Sc	(+ +)	D-1	125	7974	$6,25 \cdot 10^{15}$
3	164	Sa-Sb	(+ -)	D-1	51	2570	$2,64 \cdot 10^{14}$
4	183	Sa-Sa	(+ +)	Lb	37	4241	$5,24 \cdot 10^{14}$
5	272	Sc-Sc	(--)	D-1	83	130	$1,11 \cdot 10^{12}$
6	286	Sa-Sb	(--)	Lb	55	126	$6,88 \cdot 10^{11}$
7	364	Sa-Sm	(- +)	D-2	71	8548	$4,08 \cdot 10^{15}$
8	463	Sa-Sb	(--)	D-1	76	3076	$5,68 \cdot 10^{14}$
9	569	Sa-E	(- +)	D-2	55	4083	$7,2 \cdot 10^{14}$
10	599	E-E	(--)	Aam	27	2618	$1,46 \cdot 10^{14}$

туры галактик, является явным признаком того, что галактики находятся на одинаковых расстояниях от нас. Тогда разность лучевых скоростей соответствует радиальной составляющей их относительной скорости. Пары под номерами 272, 286 и 463 были выбраны по слабому критерию отбора  $\eta = 5$ ,  $\xi = 1/2$ , их можно отнести, как предполагает И. Д. Карабченцев, к членам более крупных систем – групп или скоплений галактик. Возможно, поэтому их относительные скорости больше той критической величины, чтобы их считать условно изолированными. С другой стороны, искажение спиральной структуры одного из компонентов (D-1) или наличие перемычки (Lb) явно не указывает на изолированность этих пар. Скорее всего, они случайным образом оказались рядом при их движении независимо друг от друга, хотя взаимные расстояния, относительные

скорости и «вириальные» массы пар 272 и 286 намного меньше, чем у остальных галактик списка.

Двойные галактики под номерами 60 и 183 выбраны по сильному критерию отбора ( $\eta = 10$ ,  $\xi = 1/4$ ), т.е. третья «значимая» галактика находится от пары на расстоянии, превышающем их взаимное расстояние в 10 раз и по величине является менее массивной. Такие пары, фактически, можно считать изолированными, т.е. не являющимися членами более крупных систем. Пары под номерами 164, 364 и 569 являются средними по критерию отбора, их также можно отнести к условно изолированным системам. Тем не менее, большие относительные скорости компонентов и значения суммарных орбитальных масс этих пар указывают на то, что, вероятнее всего, они являются либо случайно находящимися рядом в галактическом фоне, либо членами более крупных систем.

Если искажение спиральной структуры компонентов пары (D-1, D-2), наличие приливных структур в виде “хвостов” (Lt) или перемычек (Lb) можно объяснить действием приливных сил при случайном близком взаимном прохождении галактик пары, то наличие общей «атмосферы» (Aam) трудно согласовать с их случайным близким взаимным прохождением. Оно говорит о том, что галактики совместно существуют и взаимодействуют друг с другом довольно долгое время. Об этом свидетельствуют и взаимные расстояния пар под номерами 18 и 599 на картины плоскости, которые составляют, соответственно, 25 и 27 кпс. Фактически расстояния между галактиками сравнимы с размерами самих галактик, что указывает, вместе с общей «атмосферой», на возможную физическую связь между компонентами этих пар.

Если суммарная орбитальная масса пары под номером 18 более чем в шесть раз превышает видимую массу Местной группы, то двойная под номером 599 является довольно массивной, ее вириальная масса в 380 раз превышает звездную массу Местной группы. Этот факт указывает на то, что, возможно, имеются среди двойных галактик такие массивные, масса которых на два-три порядка выше звездной массы Местной группы. Возможно, они не являются такими широкими, как Местная группа, но имеют большую относительную скорость. Результаты численных экспериментов моделирования динамики двух тел и распада трех тел в поле скрытых масс показывают, что со временем галактики сближаются друг с другом и вместе «падают» в центр расположения скрытых масс. При этом их относительные скорости увеличиваются.

Возможно, для близких пар влияние скрытой массы не сильно заметно, поэтому мы не наблюдаем наличие темной материи в относительно

близких парах. Темная материя проявляет себя в более широких системах двойных галактик, как Местная группа. Тем не менее, данный результат почти однозначно свидетельствует о наличии скрытых масс в двойных галактиках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чернин А.Д. Физический вакуум и космическая антигравитация // УФН. 2001. Т. 171. С. 1153.
2. Чернин А.Д. Внутренняя симметрия Вселенной // Природа. 2006. № 10.
3. Карапенцев И.Д., Макаров Д.И. Двойные галактики в Местном сверхскоплении и его окрестностях // Астрофизический бюллетень. 2008. Т. 63, № 4. С. 320–368.
4. Tully R.B., Rizzi L., Dolphin A.E., et al. Associations of Dwarf Galaxies // Ap. J. 2006. V. 132. P. 729.
5. Карапенцев И.Д. Двойные галактики. М.: Наука, 1987. 248 с.
6. Tully R.B. Nearby Groups of Galaxies. II. An All-Sky Survey within 3000 Kilometers per Second // Astrophys. J. 1987. V. 321. P. 280-304.
7. Tully R.B. Nearby Galaxy Catalog // Cambridge Univ. 1988.
8. Аносова Ж.П. Обобщенный статистический критерий выделения оптических и физических кратных систем – случайных и неслучайных группировок объектов // Астрофизика. 1987. Т. 27, вып. 3. С. 535.

#### Резюме

Көс ғаламдар каталогының физикалық, ықтималды физикалық, ықтималды оптикалық, оптикалық жүргізурын анықтау үшін статистикалық критерий қолданылады және көс галактикаларда күнгірт материяның болу мәселесі талқыланады.

#### Summary

Physical, possibly physical, possibly optical and optical pairs of the catalogue of double galaxies are determined through statistical criteria. Existence of the dark matter in double galaxies is also discussed.

ЖемГУ им. И. Жансугурова,

г. Таңыкорган;

Астрофизический институт

им. В. Г. Фесенкова, г. Алматы

Поступила 6.05.2010г.