

равная S_c при $z=z_m$, позволяет учесть влияние стратификации в сдвиговых слоях на массоперенос в ядре.

Физическая интерпретация диффузионного триплета связана с двумя факторами: 1) непосредственно со сдвиговой турбулентностью в слое смешения и придонном слое для компоненты v_{sl} и 2) с наличием центральной составляющей v_{sp} .

По-видимому, эта «проникающая» компонента v_{sp} определяется преимущественно проходящими через область ядра вихреобразованиями с отличными от нуля проекциями осей на вертикаль, что обусловлено следующими причинами: 1) непроницаемостью плоскости $z=z_m$ для вихреобразований с горизонтальными осями, ориентация которых определяется знаком dU/dz ; 2) отсутствием гасящего воздействия стратификации на орбитальные составляющие скоростей вихреобразований с вертикальными осями.

Решение уравнения диффузии (1) с учетом диффузионного триплета позволяет описывать реальные профили $S(z)$ (см. рис. 1, б), включая ступенчатые и нелинейные с разными знаками локальной кривизны.

Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту JFU 100 Международного научного фонда и правительства России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stacey M. W., Bowen A. J. // J. Geoph. Res. 1988. C93, N 4. P. 3528.
2. Chikita K. A. // Pr. Symp. «Chall Sustain. Dev.» Perth, Australia, 1991. Pt. 1. P. 268.
3. Самолюбов Б. И. // Океанология. 1986. 26, № 6. С. 920.
4. Пыркин Ю. Г., Самолюбов Б. И. // Гидротехн. строительство. 1988. № 4. С. 48.
5. Eldsvic K., Brors B. // Contin. Shelf Res. 1989. 9, N 7. P. 617.
6. Самолюбов Б. И. // Водные ресурсы. 1991. № 4. С. 37.
7. Самолюбов Б. И., Быстрова Н. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1994. 35, № 1. С. 79.
8. Самолюбов Б. И., Тронова (Силаева) Л. В. // Тез. докл. на IV конф. «Динамика и термика рек, водохранилищ, внутренних и окраинных морей». М., 1994. Т. 1. С. 359.
9. Монин А. С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л., 1988.

Поступила в редакцию
25.04.95

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 5

АСТРОНОМИЯ

УДК 523.855

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГРУПП ГАЛАКТИК. КОРРЕЛЯЦИЯ СВЕТИМОСТЕЙ КОМПОНЕНТОВ

В. В. Демин
(ГАИШ)

Изучаются интегральные свойства широких групп галактик из списка Караченцева. Диаграммы «светимость—светимость» показывают, что спектр масс ярчайших членов групп фиксирован в пределах каждой системы, а также в диапазоне всей изу-

чаемой выборки. Эти данные, а также ряд других противоречат некоторым моделям слияния и свидетельствуют в пользу единого сценария формирования и эволюции групп галактик в рамках модели системы с общим газово-звездным резервуаром. Группы галактик находятся на различных динамических стадиях эволюции, темпы которой зависят от плотности системы. Во многих из них продолжают процессы перераспределения вещества между членами и активного звездообразования в компонентах.

1. Введение

Существует несколько парадоксов, которые приписываются группам галактик. Здесь мы перечислим только некоторые, связанные с динамическими свойствами малых систем.

Первый из них ассоциируется с противоречивыми данными о красных смещениях компонентов. Группы часто содержат одну или несколько галактик, красные смещения которых сильно отличаются от красных смещений других членов. Если эти галактики находятся на таком же расстоянии, что и другие компаньоны, тогда либо внутренние галактики были выброшены из этой группы на больших скоростях, либо должен иметь место некоторый новый физический феномен [1]. Этот парадокс тесным образом связан с проблемой так называемой «скрытой массы» в агрегатах галактик. Известно [2], что дисперсия скоростей многих групп значительно выше той, которая ожидалась бы, если бы масса в группах заключалась только в ассоциируемой с галактиками. Отношения массы к светимости, вычисленные по теореме о вириале, часто больше, чем массы индивидуальных галактик, полученные на базе фотометрических измерений или на основе данных о кри-вых вращения, примерно на порядок величины. Отсюда следует, что либо группы находятся в неравновесном состоянии, либо большая часть их массы находится в невидимой форме.

Второй парадокс связан с неустойчивостью многих групп галактик по отношению к процессу слияния, что в свою очередь выдвигает вопрос о путях дальнейшей эволюции систем этого типа. Исследования многочисленных моделей динамической эволюции групп приводят к противоречивым и часто совершенно противоположным результатам (см., напр., [3, 4]) в зависимости от параметров модели и типа начальных условий. Тем не менее численные расчеты процесса эволюции широких и компактных групп галактик с присутствием и отсутствием темной материи показали [5, 6], что при тесных и медленных сближениях происходит слияние галактик. В отсутствие скрытой массы этот процесс активно происходит в центральной области, так что в течение примерно времени пересечения в центре системы образуется гигантская галактика. При наличии темной материи процесс слияния галактик менее интенсивен, причем вероятность реализации этого процесса уменьшается при увеличении массы скрытой материи [7]. В широких группах за хаббловское время наблюдаются единичные случаи слияний, при этом наблюдаемые в этих группах галактик с массивными гало компактные подсистемы, как правило, обусловлены эффектами проекции. В то же время в группах галактик без массивных гало компактные подсистемы приблизительно в 50% случаев являются реальными ядрами. Физически плотные подсистемы либо имеют короткие времена жизни и разлетаются, либо часть их компонентов сливается и происходит эволюция функции светимости галактик в группах с течением времени [8, 9]. Сравнение с наблюдениями показывает, что в реальных компактных группах галактик функция светимости сходна с функциями светимости галактик поля, широких групп и скоплений и в

них не наблюдается сегрегации по светимостям, которая обнаруживается в моделируемых группах без массивных гало. В моделируемых группах кумулятивная функция светимости плотных систем очень быстро показывает признаки слияния на ярком конце, что также не согласуется с наблюдениями [10].

Изучение моделей слияния показывает, что этот процесс сопровождается бурными вспышками звездообразования в остатках. Тем не менее в [3] по эквивалентным ширинам линии H_α не найдено признаков повышенного звездообразования или пониженного содержания межзвездного газа в галактиках групп. В моделях, где компактные группы рассматриваются как продукты эволюции разреженных групп и в течение нескольких миллиардов лет сливаются в одну E -галактику, оцениваемая доля эллиптических галактик с голубыми избытками цвета (15%) превышает долю (5%) голубых E -галактик в плотных системах [11]. Отмеченный в [11] избыток (21% против 13%) содержания E -галактик в наблюдаемых компактных группах также не удается объяснить процессами слияния.

При сближениях и тесных взаимодействиях наблюдается [9] перекачка энергии орбитальных движений во внутреннюю энергию компонентов. Но при этом образование временных двойных и квазистойчивых тройных систем препятствует быстрому переходу энергии во внутренние степени свободы и, таким образом, процессу слияния.

Из вышеприведенного следует, что существующие модели динамической эволюции широких и компактных групп, в которых системы эволюционируют слиянием до тех пор, пока не становятся одной эллиптической галактикой за несколько гигаlet, конфликтуют с некоторыми наблюдениями. В подтверждение этой точки зрения в настоящей работе приводятся дополнительные данные, полученные на основе использования фотометрической наблюдательной информации для групп галактик. Для этого рассмотрим имеющийся в наличии материал.

2. Наблюдательные данные

В качестве выборки групп галактик мы воспользовались группами из списка И. Д. Караченцева [12], в состав которых входят 22 триплета, 14 квартетов, 10 квинтетов. Число членов в остальных группах превосходит 5. В состав выборки входят также 5 рассеянных групп (№ 5, 12, 16, 48, 50). Члены этих малых систем физически слабо связаны друг с другом и обычно по своим свойствам ничем не отличаются от так называемых галактик поля. В общей сложности выборка состоит из 334 галактик.

Морфологические типы галактик, их лучевые скорости, звездные величины и показатели цвета в системе UBV взяты из каталогов [13, 14].

Некоторые параметры изучаемых групп галактик приведены в таблице, где в столбцах обозначены: 1 — номер группы по списку Караченцева; 2 — номер ярчайшей галактики группы; 3 — средняя лучевая скорость группы по данным [13, 14], км/с; 4 — дисперсия лучевых скоростей, км/с; 5 — пространственная плотность групп $n \sim N/R^3$, где N — число галактик в системе, R — максимальный линейный размер группы в проекции на небесную сферу; 6 — морфологический тип группы, т. е. для типа S : $N_E/N < 0,33$, для типа ES : $0,33 \leq N_E/N \leq 0,60$, для типа E : $N_E/N > 0,60$ (N_E — число эллиптических галактик в системе).

Интегральные характеристики групп были вычислены по средней лучевой скорости группы ($H_0 = 75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$).

Средние параметры групп списка И. Д. Караченцева

№	NGC	V_0	δ	$\lg n$	T
1	2	3	4	5	6
1	224	—6	14	7,21	E
2	55	226	62	3,43	S
3	68	6814	223	6,34	E
4	128	4627	174	5,47	E
5	157	1861	33	2,08	ES
6	584	1968	52	3,35	E
7	383	5283	178	6,28	E
8	488	2411	91	3,99	S
9	736	5049	254	5,23	E
10	1068	1393	157	3,17	S
11	1084	1433	35	2,82	S
12	1232	1526	51	2,20	ES
13	1316	1441	77	4,11	E
14	1453	4023	89	4,96	E
15	1566	1007	95	4,41	S
16	2336	2355	54	1,69	S
17	2444	4096	120	7,42	ES
18	2655	1496	98	3,23	S
19	2805	1806	18	6,89	S
20	A0937	6449	162	7,18	ES
21	2859	1496	46	3,19	S
22	3031	198	50	6,28	S
23	3158	6596	221	4,39	E
24	3227	1198	70	5,20	S
25	3190	1285	76	6,27	S
26	3245	1260	72	3,61	S
27	3368	813	80	5,01	ES
28	3379	845	150	6,81	E
29	3430	1591	35	5,40	S
30	A1108	8685	128	6,76	E
31	3627	621	33	4,74	S
32	3627	654	58	5,36	S

№	NGC	V_0	δ	$\lg n$	T
1	2	3	4	5	6
33	3607	853	149	7,43	E
34	3642	1875	98	3,41	E
35	3686	1161	119	5,31	S
36	A1145	4997	162	5,81	S
37	3995	3280	74	6,29	S
38	4274	850	82	5,48	ES
39	4261	2147	122	4,29	E
40	4281	2307	132	5,54	E
41	4589	1884	69	3,08	E
42	4406	894	210	5,19	E
43	4472	1234	177	5,83	E
44	4486	1331	76	6,08	E
45	4649	941	161	5,86	E
46	5457	490	43	3,81	S
47	5128	304	34	2,90	ES
48	5322	2215	54	1,32	ES
49	5371	2376	158	3,58	S
50	5557	3581	97	1,87	S
51	5427	2525	97	4,71	S
52	5566	1557	64	5,33	E
53	5846	1765	117	3,54	E
54	5907	824	102	3,94	S
55	6166	9163	880	7,95	E
56	A1648	9231	218	5,83	E
57	6769	3869	122	6,29	S
58	6928	4640	125	5,66	ES
59	6962	4321	153	5,07	ES
60	7319	6720	238	6,79	ES
61	7410	1540	52	3,54	S
62	7463	2325	177	7,83	E
63	7769	4546	18	5,78	S

3. Корреляции светимостей компонентов

На рис. 1—3 изображены диаграммы светимость—светимость для компонентов групп галактик, причем по осям ординат отложены соответственно абсолютные звездные величины первого, второго и третьего членов системы, а по осям абсцисс светимости остальных компонентов этих систем — до шестого включительно. Коэффициенты корреляции на диаграммах соответственно равны $k_1=0,85\pm0,5$, $k_2=0,76\pm0,06$, $k_3=0,75\pm0,08$.

На рисунках отмечена группа № 42, которая не подчиняется общей зависимости. Как видно из таблицы, дисперсия скоростей в этой системе намного превышает среднее значение для всей выборки групп ($\sigma=107$ км/с). Лучевые скорости членов этой системы лежат в диапазоне от 419 км/с для NGC 4406 до 2205 км/с для NGC 4477. Это указывает на то, что в данном случае галактики, включенные в состав группы, не связаны физически, а составляют систему только в проекции на небесную сферу, т. е. разбросаны по лучу зрения. Таким образом, подобные диаграммы дают возможность удалить из выборки для некоторых групп оптические члены, т. е. галактики переднего и заднего фона.

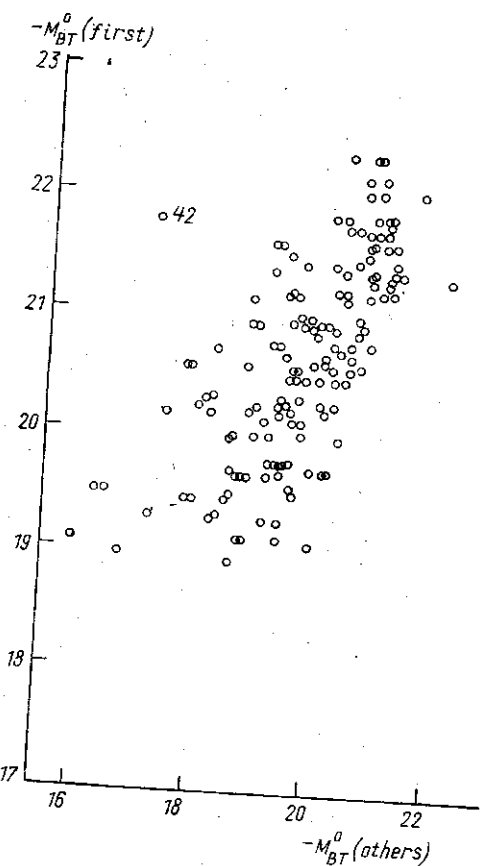


Рис. 1

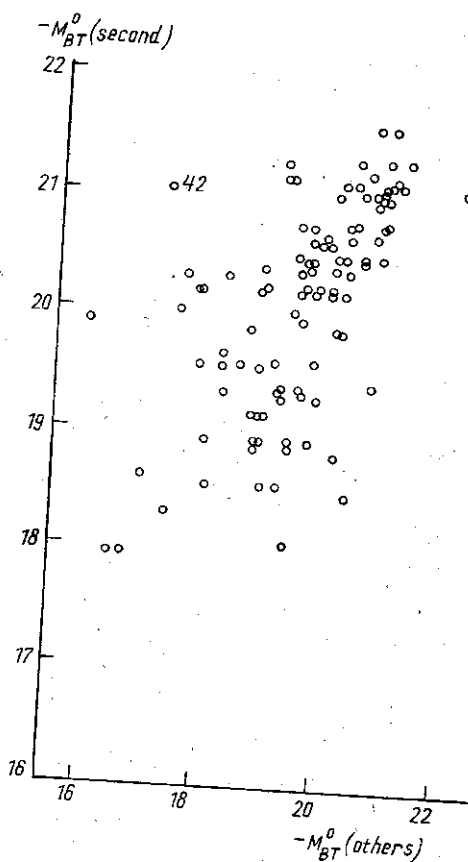


Рис. 2

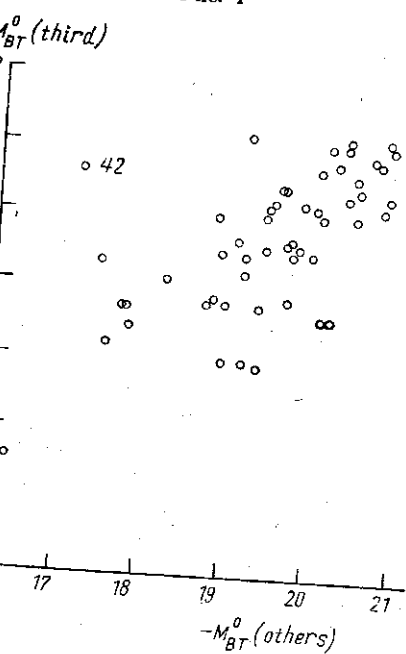


Рис. 3

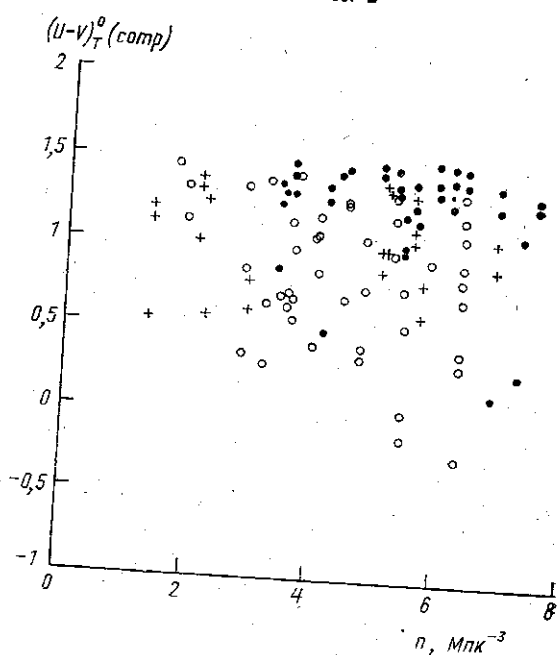


Рис. 4

Кроме того, полученные на диаграммах зависимости позволяют отметить целый ряд свойств групп галактик. Во-первых, светимости ярчайших членов каждой группы лежат в достаточно узком диапазоне. Во-вторых, как хорошо видно на диаграммах, центральные галактики групп не отличаются по светимостям от остальных членов этих систем. В-третьих, на приведенных выше диаграммах галактики с аномальными красными смещениями не выделяются, хотя в каждой из изучаемых здесь систем присутствуют такие объекты. И, в-четвертых, корреляция абсолютных величин компонентов для всей выборки в целом вместе с обнаруженной ранее корреляцией показателей цвета членов групп свидетельствует о их принадлежности к единому классу объектов. Эти выводы согласуются с результатами работ [15, 16].

Надо сказать, что, по-видимому, корреляции должны ухудшаться по мере включения в выборку все более слабых по яркости галактик групп. Для того чтобы установить границы этих зависимостей, необходимо, чтобы фотометрические измерения были выполнены для как можно большего числа галактик групп.

Таким образом, в результате можно констатировать, что светимости ярчайших компонентов групп в диапазоне всей выборки компонентов жестко связаны. Учитывая связь светимости галактики с ее массой, можно утверждать, что фиксированным является спектр масс членов группы в зависимости от интегральных параметров системы, а также спектр масс групп.

Полученные здесь зависимости светимость—светимость, а также ранее полученные зависимости цвет—цвет для галактик групп свидетельствуют в пользу сценария совместного происхождения и эволюции групп галактик в рамках модели системы с общим газово-звездным резервуаром, когда эволюция галактик в этих системах происходит при активном обмене веществом между членами группы, между компонентами и межгалактической средой, оставшейся после образования галактик и утерянной ими. При «баражировании» галактик в гравитационном поле группы происходит перераспределение вещества между членами системы. Подтверждением этой точки зрения служат результаты некоторых наблюдательных исследований, полученные в последние годы, которые мы рассмотрим в следующем разделе.

4. Обсуждение и выводы

Группы галактик являются трудными для изучения системами. Определение их интегральных свойств по наблюдательным данным сильно зависит от членства галактик. Включение в выборку тех или иных объектов фона значительно влияет на эти параметры. Более тщательный отбор членов показывает [17] снижение определенных из наблюдений значений динамических характеристик до полученных по кривым вращения индивидуальных галактик.

Как отмечалось еще в работе [12], функция светимости для членов групп практически совпадает с функцией светимости галактик пар и поля. Но в каждом случае эти функции не являются типичными функциями светимости галактик в единичном объеме пространства, так как они искажены эффектом выборки галактик по видимой звездной величине. Это приводит к зависимости средней абсолютной величины галактик от лучевой скорости группы. Такое обстоятельство делает практически невозможным проверку вопроса о том, являются ли различия в абсолютных величинах галактик от группы к группе случайными или же обусловлены физическими причинами, например сов-

местным происхождением членов. Тем не менее полученные в этой работе зависимости абсолютных величин галактик, а также ранее полученные зависимости показателей цвета $(U-V)_r^0$ ярчайших компонентов групп, по-видимому, опровергают этот взгляд, поскольку выводы, сделанные в предыдущем разделе, скорее свидетельствуют не только о совместном происхождении членов групп, но и о длительной и совместной их эволюции.

Численные модели эволюции групп галактик не противоречат полученным здесь результатам. Например, в [18] показано, что сравнение моделируемых и реальных групп говорит, по-видимому, о том, что группы галактик динамически молоды, поэтому не могли достигнуть полной вириализации. Верхние оценки возраста групп подтверждают этот вывод [19].

В пользу этого свидетельствуют также наблюдения галактик групп в оптическом и радиодиапазонах. Средние значения показателей цвета галактик групп для данного морфологического типа мало отличаются от средних цветов галактик поля, пар и скоплений. Тем не менее мы приводим на рис. 4 зависимость показателей цвета $(U-V)_r^0$ от плотности n групп галактик. На рис. 4 черными кружками обозначены члены E -групп, крестиками — компоненты ES , а светлыми кружками — галактики S -групп. По оси ординат отложен цвет компаньонов, а по оси абсцисс — плотность системы.

Наблюдения водорода H I в галактиках групп [20] свидетельствуют о том, что свойства компонентов зависят от плотности системы. Кроме того, изучение распределения темной материи показывает, что большая часть массы групп находится в форме однородной оболочки, через которую движутся галактики [1]. Приводятся также аргументы, что диски H I являются более протяженными, чем звездные диски галактик. В данных случаях эмиссия H I идет от отдельных галактик, тогда как в других группах галактики погружены в облака, размеры которых превышают размеры галактик. При этом более компактные системы находятся на более продвинутой стадии эволюции. Эти данные, а также полученные здесь результаты, хорошо иллюстрируют тот факт, что группы галактик находятся на разных стадиях динамической эволюции. Во многих из них продолжатся процессы перераспределения вещества между компаньонами и вириализации.

Что касается галактик с аномальными красными смещениями, полученные результаты свидетельствуют в пользу того, что некоторые из них формировались, какое-то время эволюционировали в пределах родительских систем и были выброшены из них в результате взаимодействия с другими компонентами («эффект пращи»). Нужно только отметить, что диаграммы «светимость—светимость» менее информативны для этих объектов, чем зависимости «цвет—цвет».

Все вышесказанное служит подтверждением связности групп и предложенного сценария их эволюции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hickson P.//Paired and Interacting Galaxies: Int. Astron. Un. Coll. 124/Ed. J. W. Sulentic, W. C. Keel, C. M. Telesco. Tuscaloosa Univ. of Alabama. Dec. 4—7. 1989. 1990. P. 124.
2. Burbidge E. M., Sargent W. L. W.//Nuclei of Galaxies/Ed. D. J. K. O'Connell. Amsterdam. North—Holland. 1971
3. Maia M. A. G., da Costa L. Nicolaci//Astrophys. J. 1990. 352. P. 457.
4. Vennik K. J.//Astr. Nachr. 1986. 307. P. 157.
5. Navarro H.//Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1987. 228. P. 501.
6. Mamon G. A.//Astrophys. J. 1987. 321, P. 622.

7. Чернин А. Д. // Собщ. CAO. 1987. 53. С. 35.
8. Tully R. B. // Astrophys. J. 1987. 321. P. 280.
9. Governato H. J. // Astrophys. J. 1991. 371. P. L 15.
10. Bhavsar S. P., Barrow Z. D. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1985. 213. P. 857.
11. Zepf D. C., Whitmore B. C. // Astrophys. J. 1991. 383. P. 542.
12. Караченцев И. Д. // Пробл. космич. физики. 1970, 5. С. 201.
13. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. J. The Second Reference Catalogue of Bright Galaxies. Austin. 1976.
14. Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Corwin H. J. et al. The Third Reference Catalogue of Bright Galaxies. Springer-Verlag. 1990.
15. Hickson P. // Astrophys. J. 1988. 331. P. 64.
16. Bhavsar S. P., Barrow Z. D. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 1985. 213. P. 357.
17. Gott H. J. // Ann. Rev. Astron. Astrophys. 1977. 15. P. 235.
18. Diaferio A., Ramella M., Geller M. J., Ferrari A. // Preprint N 3577. Harvard-Smithsonian Cen. for Astrophys. Cambridge. 1993.
19. Sulentic P. // Astrophys. J. 1987. 322. P. 605.
20. Williams J. // Astron. J. 1991. 101. P. 1957.

Поступила в редакцию
10.05.94

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1995. Т. 36, № 5

УДК 537.86

О «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ» ОПТИМАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА В ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

А. В. Гусев, В. В. Кулагин

(ГАНШ)

Исследуется устойчивость оптимального алгоритма обнаружения полезного сигнала в гравитационно-волновом эксперименте к изменению априорных сведений о параметрах внешнего воздействия и динамических параметрах гравитационного детектора веберовского типа.

1. Пороговая чувствительность твердотельных гравитационных антенн (ТГА) как единого измерительного комплекса, состоящего из собственно гравитационного детектора (высокодобротный механический резонатор) и электромеханического преобразователя, определяется следующей формулой [1, 2]:

$$(h_0)_{\min} = (4\sigma_T/l) (Q\omega_0\tau_0/F)^{-1/2}, \quad (1)$$

где h_0 — амплитуда вариации метрики; σ_T^2 — дисперсия тепловых шумов; l , Q и $\omega_0 = 2\pi f_0$ — длина, добротность и резонансная частота; τ_0 — длительность гравитационно-волнового (ГВ) импульса; F — коэффициент шума электромеханического преобразователя.

При обобщенном анализе шумов в ТГА используется стандартная методика описания шумящих линейных систем [3]. Эквивалентная по шумам схема ТГА, соответствующая 1-й системе электродинамических аналогий [4], приведена на рис. 1.

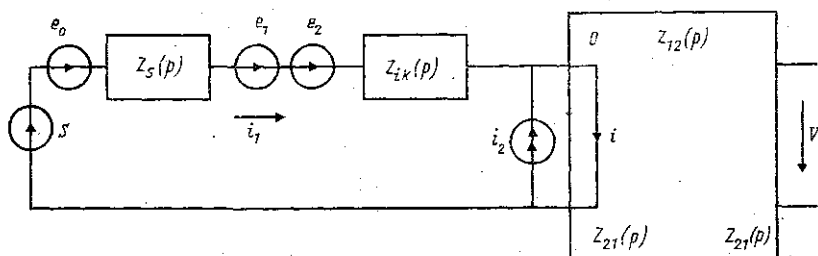


Рис. 1