

**ОЦІНКА МАС ПОДВІЙНИХ ГАЛАКТИК МЕТОДОМ "АРГУМЕНТУ СИНХРОНІЗАЦІЇ"**

*Розглянуто можливості застосування методу "аргументу синхронізації" до фізичних пар галактик, відмінних від пари М31 – Молочний Шлях. Ми обмежуємося парами в Місцевому об'ємі, накладаючи на кандидатів внесення до вибірки додаткові умови ізолюваності. Для чотирнадцяти фізичних пар галактик Місцевого об'єму оцінені їхні маси, серед яких маса темної матерії.*

*Ключові слова: галактики, пари галактик, маси галактик, темна матерія.*

**Вступ.** Ф. Кан та Л. Вольтьєр [1] розглядали динаміку Місцевої групи (МГ) – подвійної системи М31 – Молочний Шлях (МШ). З того, що М31 має блакитне зміщення, яке відповідає швидкості зближення приблизно у 120 км/с, і що галактики не піддавалися припливному зруйнуванню, вони дійшли висновку: М31 та МШ утворюють фізичну систему, яка пройшла етап найбільшого віддалення. Із цього дослідники визначили: система повинна мати масу, більшу за  $1.8 \cdot 10^{12} M_{Sun}$  (мас Сонця), що на порядок більше сумарної видимої маси галактик МГ, яка тоді оцінювалася у  $2 \cdot 10^{11} M_{Sun}$ . Учені висловили думку, що існують маси в певній невидимій формі. Хоча вони ототожнювали ці невидимі маси з гарячим газом, а не з темною матерією (ТМ) у її сучасному розумінні, ця робота дала перше свідчення існування мас у міжгалактичному просторі МГ, які не спостерігаються. Метод, започаткований Ф. Каном та Л. Вольтьєром, відомий як метод "аргументу синхронізації" (АС; "timing argument", ТА). Згодом прийшло усвідомлення, що причиною розбіжності повної та видимої мас є ТМ.

Визначення маси МГ методом АС для радіальних орбіт слідом за Ф. Каном та Л. Вольтьєром було зроблено багатьма вченими. Наприклад, у 1982 р. Ейнасто та Лінден-Белл [2] оцінили повну масу МГ в діапазоні  $(3 \pm 6) \times 10^{12} M_{Sun}$  для віку Всесвіту у 14 млрд років. Ця рання оцінка повної маси МГ, охоплюючи темне гало, узгоджується із сучасними оцінками іншими методами, огляд яких можна знайти в [3].

Лі та Уайт [4] використали результати моделювання "Міленіум" для створення штучних аналогів МГ та калібрування розподілу похибок АС-оцінок. Вони отримують загальну масу двох найбільших галактик МГ у діапазоні  $(3.8 \pm 6.8) \times 10^{12} M_{Sun}$  та 95-відсоткову довірчу нижню границю  $1.8 \times 10^{12} M_{Sun}$ . Важливо відзначити, що зазначені вчені показали: оцінка маси методом АС є об'єктивною та достатотною стабільною.

Відзначимо також АС-оцінку маси МГ,  $(4.93 \pm 1.63) \times 10^{12} M_{Sun}$ , що отримана з урахуванням трансверсальних рухів М31 [5]. Порівняння її з наведеними вище оцінками показує, що ефект нерадіальності відносного руху становить величину приблизно  $0.5 \times 10^{12} M_{Sun}$  для випадку МГ.

У зазначеній роботі розглянуто можливості застосування методу АС до інших фізичних пар галактик, відмінних від пари М31 – МШ. Ми обмежуємося парами в Місцевому об'ємі (МО), накладаючи на кандидатів додаткові умови ізолюваності. У розд. 2 наведено стандартні математичні основи методу АС у припущенні суто радіальної орбіти для пари. У розд. 3 наведено формулу, що дозволяє обчислити відносну швидкість компонентів довільної пари фізично пов'язаних галактик, зокрема і близьких широких пар. У розд. 4 описано методику відбору фізичних пар на основі трьох списків подвійних галактик: каталога І. Караченцева [6], І. Караченцева, Д. Макарова [7] та Д. Макарова, Р. Уклеїна [8] (останній список є списком карликових груп, переважна більшість із яких є парами). У розд. 5 подано результати обчислень, у розд. 6 наведено зауваження до кожної з пар. Висновки подані і в розд. 7 роботи.

**Математичні основи методу.** Будемо вважати, що дві галактики є ізолюваною системою двох точкових мас.

Якщо далі припустити, що орбіти галактик є радіальними, то за законом Ньютона маємо рівняння відносного руху:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{GM_{tot}}{r^2}, \tag{1}$$

де  $r$  – відносна відстань між галактиками,  $M_{tot}$  – сума їхніх мас,  $t$  – космологічний час,  $G$  – гравітаційна стала. Первісно було  $r=0$  при  $t=0$ , оскільки галактики були в безпосередній близькості одна від одної в момент Великого вибуху. Розв'язок (1) можна записати в параметричній формі:

$$a) r = \frac{R_{max}}{2} (1 - \cos \theta), \quad б) t = \left( \frac{R_{max}^3}{8GM_{tot}} \right)^{1/2} (\theta - \sin \theta), \tag{2}$$

де за параметр  $\theta$  приймається фаза еволюції бінарної системи (ексцентрична аномалія). Відстань  $r$  збільшується від нуля (при  $\theta=0$ ) до деякого максимального значення  $R_{max}$  (при  $\theta=\pi$ ) і знову зменшується. Відносна швидкість:

$$V = \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \left( \frac{2GM_{tot}}{R_{max}} \right)^{1/2} \left( \frac{\sin \theta}{1 - \cos \theta} \right). \tag{3}$$

Рівняння (2, 3) комбінуємо таким чином, щоб вилучити  $R_{max}$ ,  $G$  та  $M_{tot}$ :

$$\eta \equiv \frac{Vt}{r} = \frac{\sin \theta (\theta - \sin \theta)}{(1 - \cos \theta)^2}. \tag{4}$$

Знаючи сучасні значення  $r_0$ ,  $V_0$  та вік Всесвіту  $t_0$ , розв'язуємо рівняння (4) відносно  $\theta$ , отримуємо деяке  $\theta = \theta_0$ , що відповідає сучасній фазі еволюції бінарної системи. З (2 а), узятого в епоху  $t_0$ , визначається найбільше розходження

$$R_{\max} = \frac{2r_o}{(1 - \cos \theta_o)}. \quad (5)$$

Тоді із (2 б), узятого в сучасну епоху, з урахуванням (5) отримуємо суму мас галактик, яка у випадку M31 та M33 є оцінкою маси МГ:

$$M_{\text{tot}} = \frac{r_o^3 (\theta_o - \sin \theta_o)^2}{G t_o^2 (1 - \cos \theta_o)^3}. \quad (6)$$

Із (2 б), узятого в час найбільшого розходження, отримуємо:

$$t_{\max} = \frac{\pi t_o}{\theta_o - \sin \theta_o}. \quad (7)$$

Момент злипання пари настане при  $\theta = 2\pi$ . Цій події відповідає космологічний час, удвічі більший за  $t_{\max}$ .

**Модифікація для широких (близьких) пар.** Ми передбачаємо можливість розгляду близьких широких пар галактик. Для них треба враховувати, що відносна швидкість галактик  $V_o$  не є різницею радіальних швидкостей. Достатньо прості геометричні міркування приводять до такого виразу:

$$V_o = r^{-1} \{V_{h1}(d_1 - d_2 \cos \lambda) + V_{h2}(d_2 - d_1 \cos \lambda) + S \sin \lambda\}. \quad (8)$$

Тут  $d_1, d_2$  – відстані до галактик,  $\lambda$  – кутова відстань між галактиками,  $V_{h1} \equiv cz_1$ ,  $V_{h2} \equiv cz_2$  – променеві швидкості галактик, які визначаються червоними зміщеннями  $z_1, z_2$ . У вираз (8) входить також величина  $S \equiv d_1 V_{t2} + d_2 V_{t1}$  – лінійна комбінація тангенціальних швидкостей галактик. Величина  $S$  лишається невизначеною; її можна вважати випадковою величиною з певним законом розподілу, наприклад гаусовим. Тоді, задаючи найправдоподібніше значення  $S$ , будемо мати оцінку маси пари галактик. В обчисленнях далі будемо вважати  $S = 0$ .

У нульовому наближенні за  $\lambda$  (8) набуває вигляду  $V_o = \text{sign}(d_1 - d_2)(V_1 - V_2)$ .

**Пошук фізичних пар галактик у Місцевому об'ємі.** Пошук у МО можливих фізичних пар галактик був проведений на основі трьох списків подвійних галактик [6, 7, 8]. При цьому ми обмежилися приблизно об'єктами з галактикоцентричною радіальною швидкістю, меншою за  $\sim 900$  км/с, що приблизно відповідає 12 Мпк.

Далі ми перевірили, чи є за сучасними даними наш кандидат парою галактик згідно із класифікацією в NED (ned.ipac.caltech.edu). Виявилось, наприклад, що пара KPG -217 є двома "згущеннями – асоціаціями", та в базі NED класифікується як єдиний об'єкт – галактика NGC5288. Інший приклад: згідно із сучасними даними NED перший компонент пари KPG – 133 є насправді зоною іонізованого водню III галактики NGC2363. Такі "пари" є більш тісними, з розділенням  $0.2 \div 1.0$  кутових мінут. "Фальшиві" пари були вилучені з розгляду.

Ми намагалися всі вихідні дані про пари, які необхідні для обчислення маси, брати з бази LV (www.sao.ru/lv/lvgdb). Це пояснюється лише бажанням мати однозначні дані про відстані: у базі LV наводиться єдине значення незалежної від червоного зміщення відстані. На протилежність до LV в NED, наприклад, приводяться всі відомі визначення різних авторів, різними методами, із прийняттям різних значень сталої Габбла тощо. Різною оцінкою відстані іноді сягає в кілька разів. Відповідно до цього має місце великий різномісний в оцінках маси. Однак повністю слідувати цьому правилу не вдалося. Про деякі відхилення від нього буде сказано нижче.

Отже, ми прийняли, що:

1) пари галактик знаходяться в LV. Точніше: оцінки відстаней для обох компонентів пари перебувають (за одним винятком) в обсязі бази даних LV. Саме в межах LV за останні пару десятків років спостерігається значний прогрес у дослідженні тривимірного розподілу галактик завдяки широкому використанню нових індикаторів відстаней, таких як TRGB (Tip of Red Giants Branch) та ін.;

2) компоненти фізичної пари є головними збурювачами (ГЗ; Main Disturber, MD) один до одного, причому бажано, щоб відповідні пари припливних індексів були невід'ємними (через можливу неточність їхнього обчислення ми припускаємо деякі винятки, див. далі). Тобто, якщо вважати об'єкти точковими, то вони перебувають у межах сфери нульової швидкості свого компаньйона. Припливний індекс  $\Theta_1$  для кожної галактики каталогу UNGC визначають так [9]:

$$\Theta_1 = \max \left[ \log \left( M_n^* / d_n^3 \right) \right] + C, n = 1, \dots, N. \quad (9)$$

Тут  $M_n^*$  – зоряна маса  $n$ -го сусіда та  $d_n$  – відстань між виділеною галактикою та  $n$ -м сусідом. Стала  $C = -10.96$  у (9) вибрана таким чином, щоб галактика з  $\Theta_1 = 0$  перебувала на сфері нульової швидкості для основної галактики;

3) Оцінки відстаней за методом "мет" (належність групі галактик) ми вважали а-пріорі неточними та такими, що приводять до однакових відстаней компонентів пари, (якщо пара належить групі) коли метод ТА не працює.

У підсумку було знайдено 14 пар галактик, перелік яких подано в табл. 1. Там також містяться вхідні дані, необхідні для обчислення мас.

У стовпчиках табл. 1 наведено: 1) назва пари; 2) назви компонентів пари; 3) екваторіальні координати компонентів пари на епоху J2000.0; 4) відстані в мегапарсеках до компонентів та метод визначення відстані; 5) геліоцентричні радіальні швидкості  $V_h$  в км/с; 6) припливний індекс для компонентів пари, спричинений іншим компонентом або "третьою" галактикою; 7) Main Disturber; 8) логарифм абсолютної  $K$ -світності у світностях Сонця; 9) видима блакитна величина  $B_t$ . У табл. 1 прийняті такі скорочення назв методів визначення відстаней: TRGB – tip of the red giant branch (верхівка рукава червоних гігантів), SBF – surface brightness fluctuation (флуктуації поверхневої яскравості), TF – Tully-Fischer method (метод Таллі – Фішера), TE – Tully estimation (оцінка в каталозі Таллі [11]), SN – supernovae (за надновими), мет – за сусідством у групі.

**Результати обчислень.** Для чотирнадцяти галактик із необхідними властивостями та даними були обчислені повні маси за методом АС. Результати обчислень подані в табл. 2.

Позначення у стовпчиках табл. 2: 1) порядковий номер; 2) назва пари; 3) кутова відстань між компонентами (у кутових мінутах); 4) сучасна відстань між компонентами (у кілопарсеках); 5) відносна швидкість (у км/с) компонентів; 6) величина  $\eta$ , що визначена в (4); 7) значення фазового параметра еволюції в сучасну епоху (розв'язок рівняння (4)); 8) відстань між компонентами в час найбільшого розходження компонентів пар (у кпк); 9) космологічний час найбільшого віддалення (у млрд років); 10) обчислена методом АС маса пари галактик (у сонячних масах); 11) сумарна  $K$ -світність пари в  $K$ -світностях Сонця (сумарна зоряна маса пари в одиницях  $M_{Sun}$ ); 12) відношення  $\chi = M_{tot} / \sum M^*$  маси пари до сумарної зоряної маси. При цьому в сумі зоряних мас ми враховуємо зоряні маси компонентів пари. Ми приймаємо, що зоряні маси галактик обчислюють за їхньою світністю в інфрачервоному  $K$ -фільтрі з використанням емпіричного співвідношення [10]:

$$M^* / M_{Sun} = L_K / L_{K,Sun} \tag{10}$$

Таблиця 1

Список фізичних пар галактик у Місцевому об'ємі, вибраних для обчислень мас

Пара	Компоненти	$\alpha, \delta$ (J2000.0)	$d$ , Мпк	$Vh$ , км/с	$\Theta_1$	Main Disturber	$\log L_K$	$B_T$ , mag
1	2	3	4	5	6	7	8	9
KPG-40	IC1727 A	014730.1+271952	7.45 (TRGB)	336	0.4	B	9.49	12.10
	NGC0672 B	014753.2+272601	7.18 (TRGB)	429	0.2	A	9.65	11.30
KM-56	NGC1533 A	040951.8-560706	19.41 (SBF)	785	0.1	B	10.84	11.80
	IC2038 B	040854.1-555932	19.20 (TF)	712	1.9	A	9.08	15.00
KM-94	NGC2337 A	071013.6+442725	11.86 (TRGB)	433	-1.9	B	9.34	13.50
	UGC03698 B	070918.8+442248	11.27 (TRGB)	421	-0.9	A	8.36	15.40
J0742+16 (KM-103)	UGC3974 A	074155.0+164802	8.17 (TRGB)	270	-0.7	B	8.74	13.60
	KK65 B	074231.2+163340	7.98 (TRGB)	281	-0.1	A	8.11	15.30
J0950+31 (KM-159)	KK78 A	095019.6+312724	7.10 (mem)	539	2.8	B	6.92	17.70
	DDO064 B	095022.4+312915	7.11 (BS)	521	1.6	A	8.04	14.50
KPG-218	M81 A	095533.5+690400	3.70 (TRGB)	-38	2.7	B	10.95	7.80
	M82 B	095553.9+694057	3.61 (TRGB)	183	3.1	A	10.59	9.10
J1216+52	CGCG269 -049 A	121546.7+522315	4.61 (TRGB)	159	-0.4	NGC4736	7.50	15.30
	UGC07298 B	121628.6+521338	4.19 (TRGB)	174	-0.4	NGC4736	7.24	16.00
J1221+38	KUG1218+387 A	122054.9+382549	8.03 (h)	570	-0.4	NGC4258	7.93	15.40
	KDG105 B	122143.0+375914	7.60 (TF)	567	-0.3	NGC4258	7.37	16.70
J1224+28	KK138 A	122158.4+281434	6.30 (txt)	450	-0.8	NGC4631	6.41	18.70
	KK144 B	122529.1+282857	6.15 (TF)	480	-0.9	NGC4631	7.27	16.50
KPG-350	NGC4631 A	124208.0+323229	7.35 (TRGB)	583	2.6	B	10.49	9.80
	NGC4627 B	124159.7+323425	7.30 (mem)	542	3.6	A	9.50	13.00
J1303-17 (KM-303)	UGCA320 A	130316.8-172523	7.30 (TF)	744	1.5	B	8.91	13.50
	UGCA319 B	130214.4-171415	7.10 (TE)	755	2.2	A	8.22	15.10
J1315+47	DDO169NW A	131519.2+473218	4.33 (TRGB)	242	0.3	NGC4736	6.34	18.00
	DDO169..... B	131530.7+472947	4.41 (TRGB)	262	0.3	NGC4736	7.73	14.50
KPG-379	M51A A	132952.7+471404	8.40 (SN)	446	?0.1	?NGC5229	10.97	8.60
	M51B B	132958.7+471605	7.66 (SBF)	455	0.4	A	10.59	10.50
KM-509	NGC7793 A	235749.4+323524	3.63 (TRGB)	227	0.2	NGC0253	9.70	9.70
	ESO349-031 B	000813.3+343442	3.21 (TRGB)	221	0.2	NGC0253	7.12	15.70

Таблиця 2

Результати обчислень

$n$	Пара	$\lambda_i'$	$r_0$ , кпк	$\Delta V$ , км/с	$\eta$	$\theta_0$	$r_{max}$ , кпк	$t_{max}$	$M_{tot} / M_{Sun}$	$\Sigma L_K / L_{Sun}$	$\chi$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	KPG-40	7.96	271	-92.8	-4.80	4.632	501	7.65	$5.89 \cdot 10^{11}$	$7.56 \cdot 10^9$	77.9
2	KM-56	11.1	219	70.7	4.52	8.093	354	6.04	$3.33 \cdot 10^{11}$	$7.20 \cdot 10^{10}$	4.63
3	KM-94	10.9	591	12.1	0.286	2.660	627	19.6	$1.76 \cdot 10^{11}$	$2.42 \cdot 10^9$	72.8
4	J0742+16	16.8	194	-10.5	-0.758	3.757	214	9.93	$2.71 \cdot 10^{10}$	$6.78 \cdot 10^8$	40.0
5	J0950+31	2.06	11	-16.4	-21.2	5.237	44	7.05	$4.55 \cdot 10^8$	$1.18 \cdot 10^8$	3.86
6	KPG-218	37.0	98	-202	-28.8	5.336	472	7.00	$5.89 \cdot 10^{11}$	$1.28 \cdot 10^{11}$	4.60
7	J1216+52	11.6	420	-15.0	-0.499	3.601	443	10.6	$2.11 \cdot 10^{11}$	$4.90 \cdot 10^7$	4305
8	J1221+38	28.3	435	3.66	0.118	2.975	438	15.3	$9.81 \cdot 10^{10}$	$1.09 \cdot 10^8$	903
9	J1224+28	48.5	174	-22.6	-1.83	4.158	227	8.60	$4.36 \cdot 10^{10}$	$2.12 \cdot 10^7$	2060
10	KPG-350	2.65	50	40.8	11.4	7.604	134	6.49	$1.56 \cdot 10^{10}$	$3.41 \cdot 10^{10}$	0.46
11	J1303-17	18.6	204	-10.0	-0.689	3.719	222	10.1	$2.93 \cdot 10^{10}$	$9.79 \cdot 10^8$	30.0
12	J1315+47	3.36	80	20.0	3.50	8.255	115	5.87	$1.22 \cdot 10^{10}$	$5.59 \cdot 10^7$	218
13	KPG-379	2.37	740	-9.00	-0.170	3.333	747	12.2	$7.65 \cdot 10^{11}$	$1.32 \cdot 10^{11}$	5.79
14	KM-509	176	455	9.97	-0.307	2.612	489	20.4	$7.66 \cdot 10^{10}$	$5.03 \cdot 10^9$	15.2

**Зауваження до пар**

1. Ми порівнюємо масу пари KPG-40, що визначена АС-методом,  $M_{tot}(KPG-40) = 5.89 \cdot 10^{11} M_{Sun}$ , з орбітальною оцінкою маси (див. [12]) масивнішого компаньйона NGC0672,  $M_{orb}(NGC0672) = (4.54 \pm 3.69) \cdot 10^{11} M_{Sun}$ , отриманої за трьома супутниками, один з яких є IC1727, а два інших KK14 та KK13. Отримані нами оцінки узгоджуються між собою.

2. Пара KM 56 = NGC1533 + IC2038. Обидва компоненти мають оцінки відстаней у базі LV, що відсувають їх за межі МО. Незважаючи на це, ми лишаємо пару у списку. Можливо, що компоненти повторно розходяться після зближення в момент часу 12.1 млрд років.

3. Пара KM-94 = NGC2337 + UGC03698. Пара ще не досягла максимуму розділення, який відбудеться в момент космологічного часу 19.6 млрд років. Очікуване максимальне розділення є найбільшим серед розглянутих пар.

4. Пара J0742+16 (KM-103) = UGC3974 + KK65 (CGCG 087-033). Правдоподібний випадок у тому сенсі, що значенню  $\chi=40$  відповідає  $\Omega_m=11$ , що характерно і для інших груп Місцевого об'єму [12]. Єдине, що порушує вимоги – від'ємні припливні індекси. Проте можливо, що вони обчислені з похибкою. Максимум розділення відбувся в епоху  $t = 9.9$  млрд років.

5. Пара J0950+31 (KM-159) = KK78 (UGC5272b) + UGC5272 має найменше (44 кпк) максимальне розділення.

6. Пара KPG-218 = M81 + M82. Конфігурація "пари" M81+M82 така: це є пара великих галактик, в одного компонента (M81), який має 36 супутників із загальною зоряною масою, на порядок меншою зоряної маси цього компонента, а у другого компонента (M82) є два слабких супутники із загальною зоряною масою на три порядки меншою ( $\log M^*=7.58$ ), ніж у цього компонента ( $\log M^*=10.57$ ). Оцінка маси пари АС-методом виявилася на порядок меншою, ніж оцінка орбітальної маси:  $M_{orb}(M81) = (4.99 \pm 1.47) \cdot 10^{12} M_{Sun}$  [12] (тут орбітальну оцінку взято без урахування M82, хоча її врахування дає близьку оцінку).

7. Пара J1216+52 = CGCG269-049 + UGC7298. Найбільше значення  $\chi = 4300$  серед розглянутих пар.

8. Пара J1221+38 = KUG1218+387 + KDG105 на сучасний момент розходиться.

9. Пара J1224+28 = KK138 + KK144. Випадає, коли компоненти не є MD один до одного, MD для обох компонентів є галактика NGC4631. У базі даних LV немає радіальної швидкості для компонента А. Значення  $V_h(A) = 450$  км/с узяті з NED. Відношення  $\chi = 2060$  дуже велике.

10. Пара KPG 350 = NGC4631 + NGC4627 розходиться.

11. Пара KM-303 (J1303-17) = UGCA320 (DDO161) + UGCA319. Зоряна маса UGCA320 приблизно у п'ять разів більша за зоряну масу UGCA. У компонентів цієї пари однакові відстані – у базі LV 7.3 Мпк для обох, або 7.1 Мпк для обох за естиматором Таллі 1988 року [11]. У цьому випадку алгоритм обчислень не працює. Однак, якщо умовно приписати UGCA320 відстань 7.3 Мпк, а UGCA319 – 7.1 Мпк, то матимемо те, що приведено в таблицях. При цьому відношення  $\chi$  має правдоподібне значення 30. Результати для цієї пари наведені умовно.

12. Пара J1315+47 = DDO169NW + DDO169 (UGC08331). У сучасний момент пара розходиться, розв'язок рівняння (4)  $\theta_0 = 8.255$  належить другій гілці функції  $\eta(\theta)$ . Випадає, коли компоненти не є MD один до одного, MD для обох компонентів є галактика NGC4736, та сама, що і для пари J1216+52.

13. Пара KPG-379 = M51a (NGC5194) + M51b (NGC5195). Добре відома пара. Згідно з базою LV MD(M51b) = M51a, але MD(M51a) = NGC5229, для якої MD(NGC5229)=M51a. Однак спроба об'єднати в пару M51a та NGC5229 неможлива через метод "мет", який приводить до однакових відстаней для компонентів пари. У таблицях наводять вихідні дані та результати обчислень для пари M51a+M51b. Отримане значення маси пари близьке до значення  $10^{12}$  мас Сонця, що є очікуваним, однак є проблема: згідно із даними LV про відстані компонент В є ближнім до нас, що суперечить зображенням пари.

14. Пара KM-509 = NGC7793 (ESO349-012) + ESO349-031. Максимальне розходження буде на момент 20.4 млрд років, найбільше серед розглянутих пар. Найбільше значення АС-маси.

**Висновки.** У зазначеній роботі метод Кана та Вольєра обчислення маси фізичної пари галактик доповнений способом обчислення відносної радіальної швидкості галактик у широких парах у припущенні радіального відносного їхнього руху. Серед трьох списків [6–8] пар галактик у межах Місцевого об'єму знайдено 14 випадків кандидатів фізичних пар, для яких можуть бути оцінені маси. При цьому основним критерієм вибору є той факт, що компоненти пари є MD один до одного. Для карликових пар ми припустили іншу можливість – належність пари третій (масивній) галактиці як спільному MD. Серед 14 пар 6 ще не досягли максимального розходження. Решта пар перейшли у стадію зближення. Найбільша маса  $M_{tot} = 7.66 \cdot 10^{11} M_{Sun}$  оцінена для пари KM-509, найменша –  $M_{tot} = 4.55 \cdot 10^8 M_{Sun}$  – для карликової пари J0950+31 (KM-159).

Відношення АС-маси пари до суми зоряних мас ми отримали в широких границях: від 0.5 до 4000. З таким розкидом значень  $\chi$  важко зробити певні висновки щодо фізичних його причин. Очевидно, що відіграють роль великі похибки спостережних даних, насамперед оцінок відстаней. Крім того, можливо, що модель аргументу синхронізації в більшості із розглянутих випадків не можна застосовувати, пари із загальних міркувань можуть мати момент обертання. З огляду на це актуальним є вивчення тангенціальних складових руху галактик у парах. З іншого боку, мабуть також більшого обґрунтування потребує співвідношення (10) для визначення зоряної складової маси [13].

#### Список використаних джерел

1. Kahn F.D. Intergalactic matter and the Galaxy / F.D. Kahn, L. Woltier // *Astroph. J.* – 1959. – Vol. 130. – P. 705–717.
2. Einasto J. On the mass of the Local Group and the motion of its barycentre / J. Einasto, D. Lynden-Bell // *MNRAS.* – 1982. – Vol. 199. – P. 67–80.
3. Shull J.M. Where do galaxies end? / J.M. Shull // *arXiv.* – 1401.5799.
4. Li Y.-S. Masses for the Local Group and the Milky Way / Y.-S. Li, S.D.M. White // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2008. – Vol. 384. – P. 1459–1468.
5. Marel R.P. Van der. The M31 velocity vector. II. Radial orbit toward the Milky Way and implied Local Group mass / R.P. Marel Van der, M. Fardal, G. Besla et al. // *J. Astroph.* – 2012. – Vol. 753. – Article id. 8.
6. Караченцев И.Д. Двойные галактики / И.Д. Караченцев. – М., 1987.
7. Karachentsev I.D. Binary galaxies in the Local Supercluster and its Neighborhood / I.D. Karachentsev, D.I. Makarov // *ArXiv:0812.0689.*
8. Makarov D.I. A list of groups of dwarfs galaxies in the Local Supercluster / D.I. Makarov, R.I. Uklein // *arXiv: 1204.5406.*
9. Karachentsev I.D. Updated Nearby Galaxy Catalog / I.D. Karachentsev, D.I. Makarov, E.I. Kaisina // *Astron. J.* – 2013. – Vol. 145. – Article id. 101.
10. The Optical and Near-Infrared Properties of Galaxies. I. Luminosity and Stellar Mass Functions / E.F. Bell, D.H. McIntosh, N. Katz, M.D. Weinberg // *Astroph. J. Suppl.* – 2003. – Vol. 149. – P. 289–312.
11. Tully R.B. Nearby galaxies catalog / R.B. Tully. – Cambridge ; N. Y., 1988.
12. Karachentsev I.D. Orbital masses of nearby luminous galaxies / I.D. Karachentsev, Yu.N. Kudrya // *Astron. J.* – 2014. – Vol. 148. – Article id. 50.
13. McGaugh S.S. Weiting galaxy disks with the baryonic Tully-Fisher relation / S.S. McGaugh, J.M. Schombert // *Astroph. J.* – 2015. – Vol. 802. – Article id. 18.